

Sistema Multifonte de Aquecimento de Águas Sanitárias e Ambiente

Manuel José de Azevedo Macedo

Dissertação de Mestrado Integrado

Orientador na FEUP: Prof. Eduardo Oliveira Fernandes



FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Porto, Junho de 2013

Resumo

O presente trabalho tem como principal objeto de estudo, o reconhecimento de uma instalação de aquecimento ambiente e de produção de água quente sanitária com recurso à energia solar e à biomassa com recuperador de calor em lareira (daí a designação ‘multifonte’) em casa de habitação reabilitada em Covelães (Montalegre) no Parque da Peneda Gerês por iniciativa deste. Perante a instalação, tratava-se de reconstituir o projeto, 30 anos depois, assegurando a sua análise técnico-económica.

Numa primeira abordagem, fez-se uma caracterização genérica do panorama energético em Portugal. Procurou-se fazer uma identificação dos tipos de fontes de energia ao dispor do usos domésticos, através dos dados fornecidos pelo Inquérito ao consumo de Energia no Setor Doméstico em Portugal em 2010. Apresentou-se uma comparação entre soluções de aquecimento, em termos de energia final, e em termos de custos.

De seguida, procedeu-se à apresentação do projeto em termos de espaços e soluções para aquecimento aplicadas. Definiu-se a problemática apresentando as condições climáticas a que a moradia está submetida calculando também as necessidades e os seus limites de AQS e aquecimento do meio ambiente. Partiu-se do princípio de que a casa já havia recebido as melhorias de isolamento térmico entendidas razoáveis na altura. Porque se trata de uma construção de granito, não seria de esperar que o isolamento fosse aplicado pelo exterior, o que seria aconselhável dados a situação da região climática em que a casa se situa. Por sua vez o aumento do isolamento pelo interior também traria inconvenientes dada a exiguidade das áreas dos respetivos espaços.

O problema que aqui se aborda assenta por isso, na análise dos sistemas, seguindo a inspiração das soluções adotadas na altura. Apresentou-se cada um dos elementos usados no sistema, a conjugação entre si, e as suas vantagens e desvantagens. Para poder representar melhor toda a instalação elaborou-se o projeto em Autocad.

Procurou-se também caracterizar a relação entre o utilizador e o sistema, através da descrição de algumas condições traduzidas por diagramas de estados. Após a modelação matemática de dois elementos que realizam o aquecimento do meio ambiente, procedeu-se a um balanço de custos para a compra e reabilitação de uma moradia conjuntamente com a instalação deste mesmo sistema de aquecimento. Concluiu-se o projeto, apresentando os parâmetros e ideias que melhor parecem adapta-se à realidade de hoje.

Abstract

The presented project, has for the main study object, the recognition of an installation of environmental heating and production of hot sanitarium water, with the support of solar energy and biomass heat recovering in a fireplace (from there the designation “multifonte”) in a rehabilitated house in Covelães (Montalegre) in the National Park of Peneda Gerês, by his initiative. The deal was to reconstruct the project, 30 years after, assuring solutions in coherence with the actual days, and assuring also the technical-economical analysis.

In the first approach, it was done a general generic characterization of the main energetic image of Portugal. There was an effort to identify the kind of energy sources available to the domestic use, throw the data provided by the Inquiry to the Use of Energy in domestic Sector in Portugal in 2010. It was also presented a parallel between heating solutions, in terms of final energy, and in terms of costs.

Afterwards, it was made the presentation of the project in terms of spaces and energetic solutions presented at the time. The problem was defined, presenting also the weather conditions at the location of the house, calculating also the needs and his limits of hot sanitarium water and environment heating.

It was assumed that the house had already received, improvements of thermal isolation understood at the time. Because it is a granite construction, it wouldn't be expected that that the isolation was applied by the outside, which would be advised in face to region where the house is. In the other side, the increasing of isolation by the interior would bring also inconvenients in face to the small spaces that constitute the house.

The problem holds himself, in heating systems analysis, following the solutions adopted at the time (1980). It was also presented each one of the elements used in the system, their relation between, and their advantages and disadvantages. To a better representation, the project was designed in Autocad.

The relation between the user and the system, was also described throw some conditions designed with state blocks. After the mathematical modeling of two elements that perform the environmental heating, it was made a balance of cost to the buying and rehabilitation of a house with the described system installed. The project was concluded presenting the ideas and parameters that best adapt to that reality.

Agradecimentos

Desejo agradecer a todas as pessoas que tiveram um contributo, direta ou indiretamente, para o desenvolvimento desta dissertação, desenvolvida na Faculdade de Engenharia, espaço de grande prestígio, por si só inspirador de novas ideias e projetos.

Quero prestar um especial agradecimento ao Professor Eduardo Oliveira Fernandes pela sua orientação e disponibilidade.

Desejo também agradecer, a uma pessoa sem a qual este projeto não teria sido possível, a Engenheira Sara Araújo, que esteve sempre presente quando necessitei contribuindo com orientações muito perspicazes. Ao engenheiro Tiago Faustino agradeço também pelo seu aconselhamento na área do controlo.

À minha família também desejo deixar um forte agradecimento, por serem o meu núcleo duro, um apoio incondicional em qualquer situação.

Índice

Resumo.....	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos	vii
Índice.....	ix
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tabelas	xii
Nomenclatura.....	xiii
1. Introdução	1
2. Objetivos.....	3
3. Enquadramento dos recursos e necessidades energéticas em Portugal	5
3.1.1 Em termos de oferta de energia	8
3.1.2 Em termos de procura de energia	9
3.2 Estratégias e Metas definidas a atingir no futuro - política energética nacional	10
3.2.1 Protocolo de Quioto	10
3.2.2 Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis	10
4. Enquadramento da situação energética dos Edifícios em Portugal.....	13
4.1 Setor Residencial	15
4.1.1 Em termos de procura	17
4.1.2 Em termos de oferta	19
4.1.3 Que alternativas? Como responder às necessidades de uma habitação?	19
5. Um projeto de remodelação e beneficiação das características energéticas de uma casa em Covelães.....	23
5.1 Apresentação do Projeto	23
5.1.1 Em termos de Espaços interiores	24
5.1.2 Em termos de aplicação de sistemas de aquecimento	24
6. Definição da Problemática	25
As condições exteriores.....	25
6.1 Definição das necessidades energéticas.....	26
6.1.1 Aquecimento de água quente sanitária.....	26
6.1.2 Aquecimento do meio ambiente	28

6.2	Componentes do sistema de aquecimento de AQS e meio ambiente usados neste projeto.....	29
6.2.1	Coletores Térmicos Solares.....	29
6.2.2	Recuperador de calor	31
6.2.3	Convetores.....	33
6.3	A otimização do projeto de aquecimento de AQS e meio ambiente	34
6.3.1	Análise do sistema de Aquecimento	36
6.3.2	Análise do Sistema de Controlo	41
7.	Modelo Matemático.....	47
7.1	Necessidades energéticas.....	47
7.2	Avaliação da viabilidade do uso de um convetor com grande massa de inércia térmica	48
7.2.1	Potência radiante.....	48
7.2.2	Tempo necessário para a massa de água do convetor atingir a temperatura ambiente	52
7.2.3	Cálculo do caudal necessário para manter uma temperatura de aquecimento de 65 °C no interior do depósito/convetor.	53
7.3	O uso de convetores murais como alternativa ao depósito/convetor.....	54
8.	Apresentação de Resultados	57
9.	Análise de Resultados.....	71
10.	Balanço de Custos	75
11.	Conclusões Finais	77
	Bibliografia	79
	ANEXO A: Lista de material escolhido como referência para constituir o sistema de aquecimento	81
	ANEXO B: Balanço energético detalhado apresentado na figura 41.....	82
	ANEXO C: Listagem de preços dos vários elementos do sistema de aquecimento.....	83

Índice de Figuras

Figura 1 - Consumo de energia final em Portugal nos anos 2000 e 2011	5
Figura 2 - Estrutura de importação, de produtos energéticos (% de custo em euros)	5
Figura 3 - Nova vaga de energias renováveis previstas pelo PNAER e ENE20	6
Figura 4 - Consumo de energia em 2011 por produto energético em mtep	8
Figura 5 - Consumo de energia em 2011 por produto energético em termos percentuais	8
Figura 6 - Consumos de energia em 2011 por setor em termos de mtep	9
Figura 7 - Consumo de energia primária em 2011 por setor em termos percentuais.....	9
Figura 8 - Repartição do consumo de energia final por setor para o ano de 2011.....	13
Figura 9 - Evolução Consumo de Energia no setor Doméstico (tep).....	14
Figura 10 - Caracterização da presença de alojamentos por tipologia de áreas urbanas	16
Figura 11 - Consumo de energia primária (tep) nos alojamentos familiares clássicos de residência habitual (2010) por tipo de utilização	17
Figura 12 - Consumos de energia para aquecimento de águas (tep) em 2010.....	18
Figura 13 - Consumos em Aquecimento Ambiente em 2010.....	18
Figura 14 - Consumo médio de energia por alojamento familiar clássico de residência habitual por tipo de fonte de energia (2011)(tep)	19
Figura 15 - Projeto de Autocad da moradia em análise, situada em Covelães	23
Figura 16 - Representação em corte de um coletor solar plano do modelo FKT-1S	29
Figura 17 - Escoamento de ar num recuperador de calor.....	32
Figura 18 - Gradiente de temperaturas provocado por circulação do ar por convecção natural.....	34
Figura 19 - Projeto de Autocad da moradia em análise, situada em Covelães	34
Figura 20- Dilatação do fluido térmico com a temperatura.....	37
Figura 21 - Esquema figurativo em Autocad do sistema de aquecimento	40
Figura 22 - Diagrama de estados do sistema de controlo de caudal mássico	42
Figura 23 - Diagrama de estados do sistema de controlo de temperaturas.....	43
Figura 24 - Diagrama de estados do sistema de controlo de energia auxiliar	45
Figura 25 - Diagrama de estados do sistema de controlo da prioridade de aquecimento.....	46
Figura 26- Perfil de temperaturas típico para o caso de placa arrefecida.....	49
Figura 27 - Representação figurativa do convetor em corte e dos processos de transferência de calor que ocorrem.	49
Figura 28 - Balanço energético comparativo [kWh/mês]	57
Figura 29 - Balanço Energético por metro quadrado [kWh/dia.m²]	57
Figura 30 - Figura ilustrativa das dimensões do convetor/depósito em milímetros.....	64
Figura 31 - Equações formatadas para o cálculo da evolução da temperatura no depósito	67
Figura 32 - Evolução da temperatura de saída do depósito após 1 hora	67
Figura 33 - Equações formatadas para o cálculo de um caudal mássico e temperatura de entrada do recuperador.....	68
Figura 34 – Variação gráfica da temperatura de entrada em função do aumento do caudal mássico.....	69
Figura 35 - Balanço energético do período de Arrefecimento e energia auxiliar necessária	71
Figura 36 - Balanço energético para um caudal de lenha regular por um período de 10 horas/dia	71

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Dados depreendidos do ICESD.....	20
Tabela 2 - Situações hipotéticas para o uso de dois tipos de energias	21
Tabela 3 - Espaços da moradia e respetivas áreas	24
Tabela 4 - Temperaturas máximas e mínimas em Montalegre.....	25
Tabela 5 - Humidade relativa e número de graus-dias em Montalegre.....	25
Tabela 6 - Zona climática de Montalegre.....	26
Tabela 7- Coeficientes de Transmissão térmica máxima admissível.....	29
Tabela 8 - Variáveis de entrada e de saída do Sistema de Controlo	41
Tabela 9 - Variáveis de entrada e saída do sistema de controlo de caudal mássico	42
Tabela 10 - Variáveis de entrada e saída do sistema de controlo de temperatura.....	43
Tabela 11 - Variáveis de entrada e saída do sistema de controlo de energia auxiliar.	44
Tabela 12 -Variáveis de entrada e saída do sistema de controlo da prioridade do aquecimento	45
Tabela 13 - Características do recuperador de calor selecionado	58
Tabela 14 - Análise do PCI do eucalipto e do pinheiro	59
Tabela 15 - Características do coletor solar PremiumSun FKT-1S	59
Tabela 16 - Características do desempenho do sistema solar.....	60
Tabela 17 - Características técnicas do depósito de dupla serpentina.....	60
Tabela 18 - Necessidades de aquecimento nos vários elementos da casa.....	61
Tabela 19 - Parâmetros e resultados do cálculo da energia para o aq. de AQS.....	61
Tabela 20- Parâmetros para o cálculo dos limites de aq. do meio ambiente	62
Tabela 21 - Coeficiente de transferência máxima para cálculo dos limites de aq. meio ambiente.....	62
Tabela 22 - Limites das necessidades de aq. meio ambiente.....	63
Tabela 23 - Valores limites das necessidades de energia para aquecimento de AQS.....	63
Tabela 24 - Características do possível convetor/depósito.....	64
Tabela 25- Características da superfície do convetor	64
Tabela 26 - Propriedades físicas da água a 42,5 °C	65
Tabela 27 - Propriedades físicas do Ar a 42,5 °C	65
Tabela 28 - Valores adimensionais Rayleigh e Grashof	65
Tabela 29 - Valor adimensional Nusselt	65
Tabela 30 – Resultado do cálculo dos alfas médios.....	66
Tabela 31 - Resultado do cálculo da resistência térmica equivalente	66
Tabela 32 - Tabela de resultados	68
Tabela 33 - Variação numérica da temperatura de entrada em função do aumento do caudal mássico	69
Tabela 34 - Tabela comparativa de soluções para irradiação do calor para os quartos.....	72
Tabela 35 - Contagem do numero de convetores necessários por quarto	72
Tabela 36 - Balanço de custos da totalidade do projeto	75

Nomenclatura

Símbolo	Descrição da Variável	Unidades
\dot{Q}_i	Potência calorífica necessária para cada espaço da moradia	[W]
A_i	Área de cada espaço da moradia	[m ²]
E_i	Energia necessária para cada espaço da moradia	[J]
U_i	Coefficientes de transmissão térmica admissíveis	-
$T_{conforto}$	Temperatura interior de conforto	[°C]
$T_{min,média,mensal}$	Média das mínimas temperaturas mensais	[°C]
N_{ac}	Necessidades efetivas de energia para preparação de AQS	[J]
Q_a	Necessidades de energia para preparação de AQS	[J]
E_{solar}	Energia fornecida por coletores solares	[J]
E_{renov}	Energia fornecida por outro tipo de energia renovável	[J]
A_p	Área coberta da moradia	[m ²]
$Maqs$	Consumo médio diário de referência de água quente	[l]
ΔT	Intervalo de temperatura necessário para temp. de conforto	[°C]
nd	Número anual de dias de consumo	[dias]
Na	Limites das necessidades efetivas de energia para preparação de AQS	[J]
$T_{saída,recuperador}$	Temperatura da água à saída do permutador de calor da lareira	[°C]
$\dot{Q}_{convecção}$	Potência transmitida por convecção	[W]
$\dot{Q}_{condução}$	Potência transmitida por condução	[W]
$\dot{Q}_{radiação}$	Potência transmitida por radiação	[W]
\dot{Q}_{cv+rad}	Conjunto da potência transmitida por convecção e radiação	[W]
$R_{equivalente}$	Resistência equivalente da superfície	[°C/W]
$R_{cv,i}$	Resistência interior da superfície à convecção	[°C/W]
$R_{cd,p}$	Resistência da superfície à condução	[°C/W]
$R_{rd,e}$	Resistência exterior da superfície à radiação	[°C/W]
$R_{cv,e}$	Resistência exterior da superfície à convecção	[°C/W]
$\bar{\alpha}$	Coefficiente de convecção	-
A	Área total da superfície de dissipação/convecção	[m ²]
\overline{Nu}	Número adimensional de Nusselt	-
L_c	Comprimento característico da placa	[m]
λ	Condutibilidade do material	[W/m.K]
Ra	Número adimensional de Rayleigh	-
Gr	Número adimensional de Grashof	-
Pr	Número adimensional de Prandtl	-
g	Aceleração da gravidade	m/s ²
β	Coefficiente de expansão volumétrico	-
ν	Viscosidade cinemática	[Pa.s]
T_{filme}	Temperatura de filme do escoamento	[°C]

T_p	Temperatura da parede	[°C]
T_∞	Temperatura ambiente	[°C]
ϵ_p	Emissividade da parede (do material)	-
F_{1-2}	Fator de forma da superfície do ponto 1 para o 2	-
Bi	Número adimensional de Biot	-
T_i	Temperatura á distancia pretendida da parede	[°C]
$T(t)$	Temperatura no instante pretendido	[°C]
Fo	Número adimensional de Fourier	
a	Difusibilidade térmica	[W/m.°C]
ρ	Densidade do material	[kg/m ³]
c_p	Calor específico a pressão constante	[J/(kg.K)]
V	Volume do depósito	[m ³ /s]
\dot{m}	Caudal mássico	[kg/m ²]
T_e	Temperatura de entrada no convetor	[°C]
T_s	Temperatura de saída do convetor	[°C]
ϵ	Coefficiente de eficiência de transferência de calor	-
K	Coefficiente de transferência Global	-
T_m	Média das temperaturas de entrada e de saída	[°C]
T_{sala}	Temperatura do espaço em questão	[°C]
$\dot{Q}_{recuperador (1)}$	Potência térmica absorvida pelo recuperador	[W]
$P_{bomba\ circuladora}$	Potência da bomba circuladora	[W]
$\dot{Q}_{radiadores(2)}$	Potência térmica dos radiadores convetores	[W]
n	Número de radiadores utilizados	-

1. Introdução

Os problemas energéticos e ambientais surgem, hoje em dia, no panorama económico-financeiro em primeiro plano. As limitadas reservas de combustíveis fósseis, o seu custo elevado bem como a alteração das condições climáticas em termos globais, vieram chamar a atenção da comunidade global. A energia tem vindo a assumir um papel preponderante, obrigando os governos de cada país a procurar o desenvolvimento de meios de produção mais económicos, ao mesmo tempo mais eficientes, reduzindo a sua independência face ao exterior e contribuindo para um meio ambiente mais equilibrado através do desenvolvimento de energias de fontes renováveis como eletricidade e calor.

Portugal enfrenta atualmente, uma dependência energética do exterior de cerca de 78%, um número que pesa acentuadamente nos cofres do estado. De toda esta energia proveniente do exterior 81,8% em termos de custos, é carvão, gás natural e petróleo bruto. Dessas formas primárias uma parte significativa é convertida em eletricidade (cerca de 60%) e 40% é utilizada diretamente sob a forma de combustíveis, com especial incidência nos transportes. De toda a eletricidade comercializada em Portugal, cerca de 60% é consumida nos edifícios.

A energia primária como eletricidade, lenha, gasóleo ou gás natural, nos edifícios de habitação, ignorando as variações de detalhe possíveis de ano para ano por razões climáticas ou económicas, reparte-se por diversos equipamentos elétricos específicos (11%), iluminação (4%) cozinha (39%) e também aquecimento ambiente e de águas quentes sanitárias (45%).

Sendo o aquecimento de águas quentes sanitárias e do meio ambiente em edifícios, uma forma de consumo que representa quase metade dos consumos na habitação portuguesa, este trabalho tem como objetivo focar-se neste ponto em especial, tentando propor soluções para a satisfação destes com recurso a formas primárias de energias endógenas tais como, a biomassa e o sol, formas que relativamente ao nosso tempo de vida são inesgotáveis, e inofensivas para o meio ambiente no qual estaremos todos por muitas mais gerações.

O projeto de estudo que estará em análise, será de uma casa situada em Covelães, em Montalegre, no Parque da Peneda Gerês. Situada em plena serra do Gerês, chegou a ser um antigo posto da guarda-fiscal que posteriormente serviu para albergar grupos de técnicos e cientistas estudiosos que acorriam à serra para fazerem os seus estudos, onde procuravam ter um lugar de repouso, confortável para momentos de análise e reflexão. Na década de 80, a casa foi objeto de investigação arquitetural e térmica, por solicitação da Direção do Parque, surgindo uma solução, em que se fez a redistribuição dos espaços da casa, fazendo uso da luz natural, da exposição dos quartos à fachada sul, ou dissipação de calor através das paredes, aliadas também a um sistema integrado na casa não inovador na época, que usa coletores solares conjuntamente com um recuperador de calor de grelha tubular associado à queima de lenha na lareira.

2. Objetivos

Este projeto de dissertação será fruto de um olhar crítico, sobre as necessidades, consumos e ineficiências energéticas, existentes nos alojamentos familiares clássicos, particularmente os edifícios do tipo vivenda, localizados em zonas remotas como na serra do Gerês, onde as condições climáticas como temperaturas, precipitação e humidade, podem atingir extremos muito superiores aos do litoral.

Esta análise, terá especial enfoque sobre o projeto de Remodelação e Beneficiação das Características Energéticas de uma casa em Covelães, procurando assim, expor as fragilidades típicas de um edifício com as características destacadas, em termos de conforto térmico dos espaços, propondo soluções para a utilização e funcionamento do sistema térmico de aquecimento de águas quentes sanitárias e meio ambiente.

3. Enquadramento dos recursos e necessidades energéticas em Portugal

Portugal é um país com reduzidos recursos energéticos convencionais, especialmente, aqueles que satisfazem a generalidade das necessidades energéticas da grande parte dos países desenvolvidos (o petróleo, o carvão e o gás natural) e foram suporte da civilização que temos e somos. Tal escassez de fontes, conduziu até hoje a uma grande dependência energética exterior.

Por exemplo, em Portugal segundo dados da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), no ano de 2000 havia uma dependência energética do petróleo de 60%, sob a forma de energia final como exposto na Figura 1 em baixo relativo a este tipo de energia:

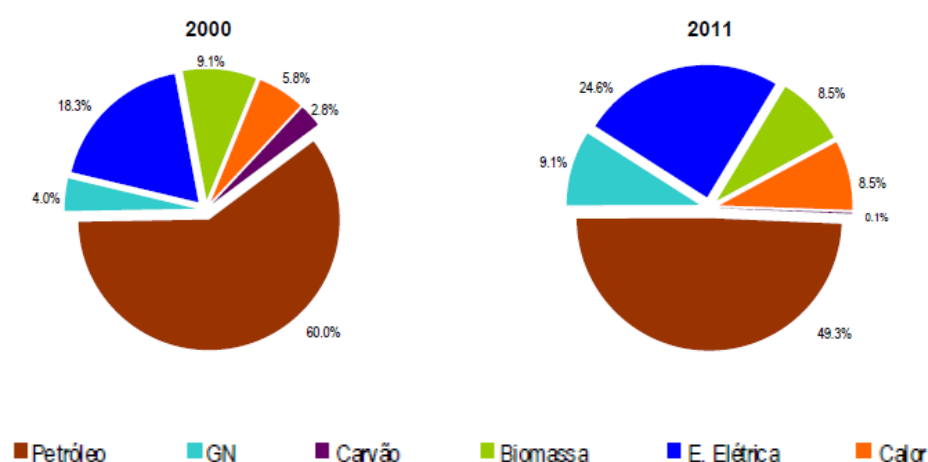


Figura 1 - Consumo de energia final em Portugal nos anos 2000 e 2011

[Fonte: DGEG]

Não existindo produção interna de petróleo em Portugal, a procura tem sido integralmente satisfeita pelo mercado externo. Em 2011, as importações de petróleo energético corresponderam a 81,8% do total de energia importada para Portugal (% de custo em euros) como observado na Figura 2:

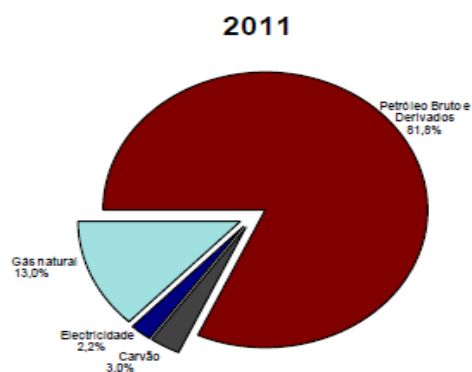


Figura 2 - Estrutura de importação, de produtos energéticos (% de custo em euros)

[Fonte: DGEG]

Tal dependência, a par do aumento significativo do preço desta matéria-prima, tem tido efeitos bastante negativos na balança comercial em termos económicos, tornando toda a energia derivada do petróleo num fator preponderante para a estabilidade da economia portuguesa.

Segundo os dados estatísticos provenientes da DGEG, em 2011 Portugal encontrava-se com cerca de 78% da sua energia importada, o que comparativamente com os níveis da EU27 de 58% nesse ano [fonte: Eurostat], é um nível 20 pontos percentuais acima da média.

A necessidade de procurar fontes de energias, não poluentes, alternativas à finitude dos combustíveis fósseis, que proporcionem maior independência económica levou a uma mudança da forma como a energia é vista aos nossos olhos.

Assim, a diversificação das fontes de energia, bem como a adoção de medidas de racionalização dos consumos, parece ser o caminho mais lógico a seguir. Vários acordos e planos foram estabelecidos ao longo da década passada, como forma de combater estes efeitos negativos, tais como o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (2009 - PNAER), a Estratégia Nacional Energética 20 (ENE 20) em consonância com Bruxelas, ou o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (2008 - PNAEE), mas existe uma referência histórica para o desenvolver da política energética e ambiental que teve repercussões, que terão levado à criação dos acordos e planos previamente referidos: o Protocolo de Quioto, que será mais aprofundado num capítulo seguinte.

Segundo o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (1), e o plano Estratégia Nacional para a Energia 20 (ENE20) (2), prevê-se uma nova vaga de energias renováveis com uma forte aposta na energia solar a partir de 2010 (Figura 3):

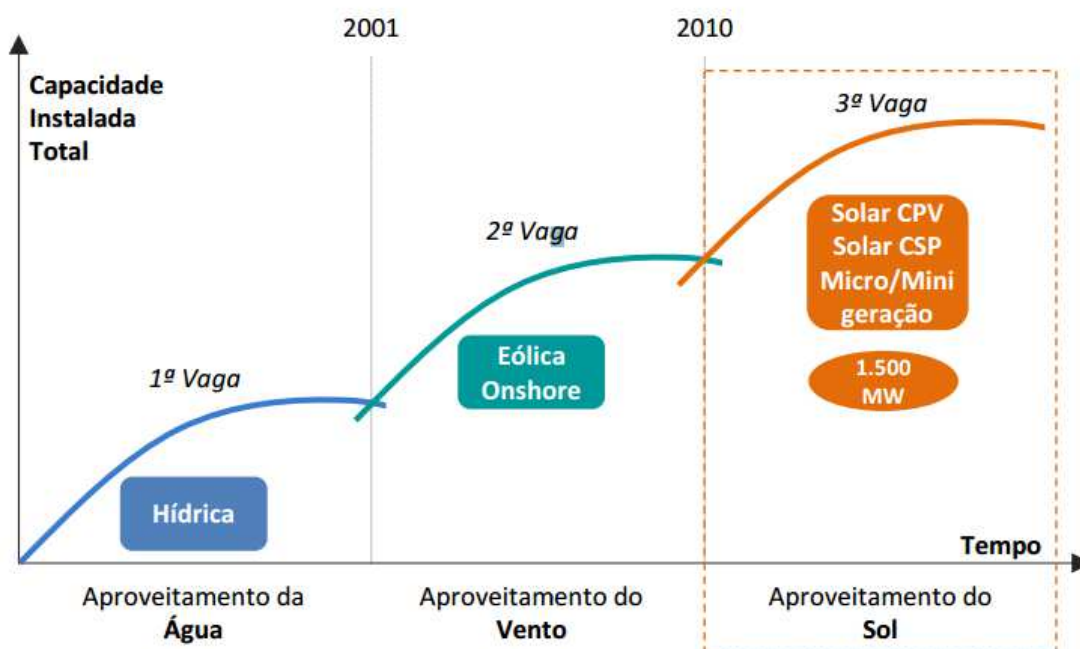


Figura 3 - Nova vaga de energias renováveis previstas pelo PNAER e ENE20

[Fonte: empreendedor.aip.pt]

É por este contexto, que as fontes de energia renováveis (FER), pela sua disponibilidade, pelo seu carácter endógeno e disperso, assumem um lugar de destaque nas políticas nacionais para o setor. Efetivamente, é unanimemente reconhecida por todos os agentes do setor, a existência de um potencial muito significativo para o desenvolvimento das energias renováveis em Portugal. Esse reconhecimento tem sido concretizado no peso crescente que as fontes de energia renovável têm vindo a alcançar nos vários setores de atividade: da indústria aos transportes, passando pelo sector doméstico, mas sobretudo na produção de energia elétrica. Do ponto de vista da segurança do abastecimento, para um país como Portugal que não dispõe de recursos ou reservas fosseis conhecidos, o papel das fontes renováveis é essencial para reforçar os níveis de segurança, ao mesmo tempo que promove a diversificação do mix energético e contribui para aumentar a sustentabilidade associada à produção, transporte e consumo de energia.

3.1 Quantificação da energia segundo vetores energéticos.

Adotando uma ótica de oferta e procura, por produtos energéticos disponíveis e setores portugueses que usam essa energia:

3.1.1 Em termos de oferta de energia

Pela perspetiva da oferta de energia primária correspondente, analisando a capacidade energética de cada produto energético usado na indústria, transportes, em ambiente doméstico e serviços, podemos observar o seguinte gráfico da Figura 4 referente ao ano de 2011:

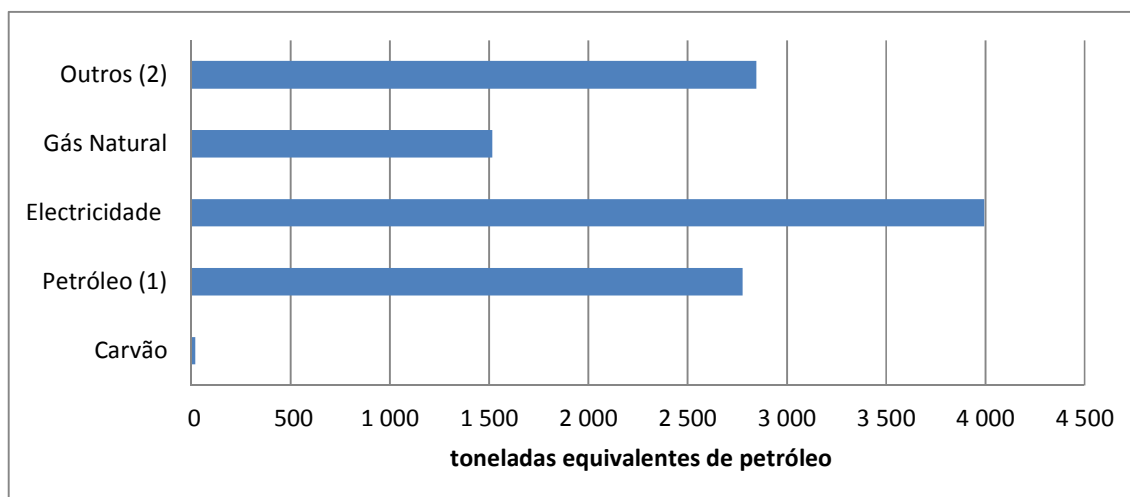


Figura 4 - Consumo de energia em 2011 por produto energético em mtep

[Fonte: DGEG]

Há uma notável predominância da eletricidade, que em termos percentuais, corresponde a 36% da fatia de energética usada como é demonstrado em termos percentuais na Figura 5:

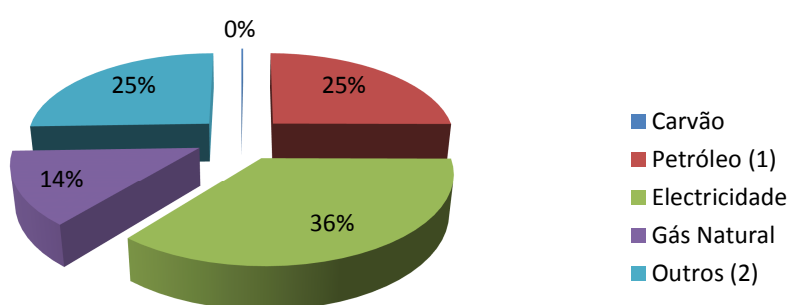


Figura 5 - Consumo de energia em 2011 por produto energético em termos percentuais

[Fonte: DGEG]

Deve ser destacado, que a fatia referente a “Outros” corresponde a uma grande quantidade de componentes energéticos tais como, solar térmico, biomassa, biodiesel, calor, gás de coque, etc.

3.1.2 Em termos de procura de energia

Numa análise, feita na perspetiva do consumo de energia primária correspondente, apresenta-se a desagregação das utilizações de energia pelos principais setores de atividade na Figura 6:

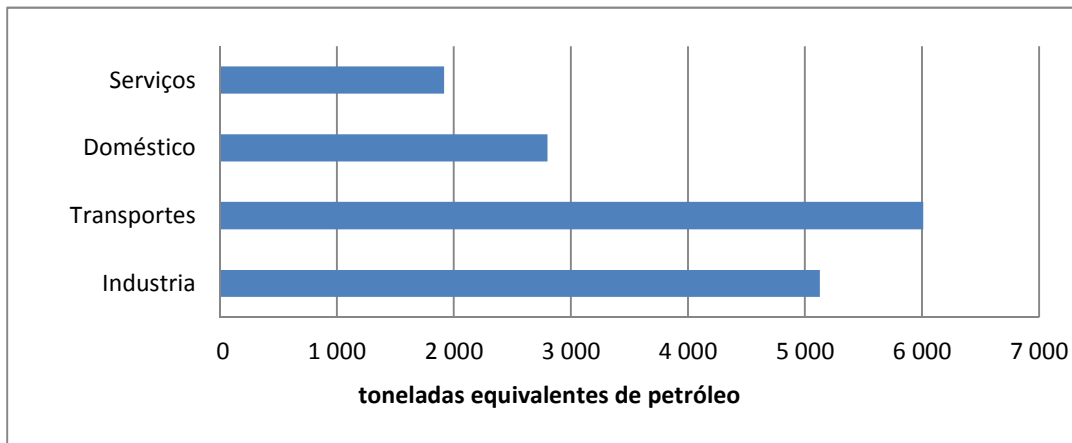
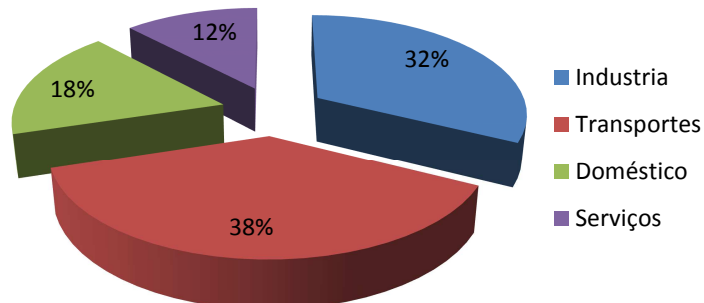


Figura 6 - Consumos de energia em 2011 por setor em termos de mtep

[Fonte: DGEG]

O setor dos edifícios domésticos e de serviços, em conjunto perfaz um total de 38% do consumo de energia em Portugal, como se denota na Figura 7:



[Fonte: DGEG]

Figura 7 - Consumo de energia primária em 2011 por setor em termos percentuais

3.2 Estratégias e Metas definidas a atingir no futuro - política energética nacional.

No caminho para o aumento do peso das energias renováveis consumidas e da redução dos gases com efeito de estufa, este capítulo aborda dois importantes capítulos da história recente da energia em Portugal. O primeiro, o Protocolo de Quioto ratificado em 1999, e os segundo, o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER).

3.2.1 Protocolo de Quioto

A necessidade de aumentar os índices de eficiência energética, para além de associada aos problemas de abastecimento de energia, sobretudo do petróleo, tem outra razão de ser, igualmente importante. Prende-se com a urgência de reduzir a emissão de gases com efeito de estufa (GEE), questão que se tem tornado motivo de intenso debate internacional.

O Protocolo de Quioto definiu, em 1999 os limites de emissão de GEE a verificar nos países que assinaram e ratificaram o Protocolo, num horizonte temporal de 5 anos entre 2008 e 2012.

Tal compromisso foi intencionalmente mais exigente para com os países mais desenvolvidos, por duas razões: por um lado, porque se assume que os países desenvolvidos têm maior capacidade para suportar os custos com a redução das emissões, nomeadamente ao nível do desenvolvimento e aplicação de tecnologias alternativas, e porque esses terão sido também os países que mais contribuíram para o atual nível de emissões de GEE para a atmosfera.

No âmbito do Protocolo de Quioto, a UE assumiu o compromisso de reduzir as emissões de GEE em 8% no período 2008-2012. A redução em cada país membro foi acordada sob o chamado EU Burden Sharing Agreement, que permite a alguns países aumentarem a emissão de GEE face ao ano base, desde que o tal aumento seja compensado pela redução das emissões noutros.

Neste momento, os objetivos delineados para 2020, apontam para valores de taxa de emissão de gases com efeito de estufa de 80 por cento (redução de 20%, no âmbito da política 2020 para UE).

No entanto, o sector de energia – que é o principal contribuinte para essas emissões no nosso País - tem conhecido desde 1990, um incremento muito acentuado e, não obstante algum abrandamento recente do consumo de energia primária (que coloca Portugal perto da média europeia em termos de intensidade energética e taxa de crescimento de energia primária), o consumo de eletricidade tem vindo a aumentar drasticamente nos últimos anos, continuando a crescer acima da média europeia.

3.2.2 Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis

Este plano de ação fixa os objetivos nacionais de cada estado-membro relativos à quota de energia proveniente de fontes renováveis consumida no sector dos transportes, da eletricidade, do aquecimento e arrefecimento de edifícios em 2020, bem como as respetivas trajetórias de penetração do acordo com o ritmo da implementação das medidas e ações previstas em cada um desses sectores. São princípios e linhas orientadoras que presidem a elaboração deste plano, PNAER para Portugal para o ano de 2020 tendo como referência o ano de 2005.

O crescimento económico para Portugal é caracterizado por uma relativa estagnação até 2010, resultado da adversa conjuntura internacional.

O estudo de análise prospetiva do PNAER efetuado em Portugal, para o período compreendido entre 2010 e 2020, com especial incidência nos anos de 2010, 2015 e 2020, foi considerado um cenário mais conservador em matéria de crescimento económico para a determinação da procura de energia final.

Este cenário tem como ponto de partida os compromissos e desafios assumidos no PEC 2010-2013, em matéria de grandes opções e crescimento económico. Contempla ainda os impactes relativos à adoção de todas as medidas de eficiência energética e de poupança de energia adotadas até ao final de 2009. Encontram-se também contempladas neste cenário as medidas constantes do Plano Nacional de Acção para a Eficiência energética (PNAEE) em vigor (2008-2015) e a extensão do seu efeito para o horizonte de 2020, bem como o efeito da introdução do veículo elétrico, que no caso Português já traduzem uma parte significativa das medidas para se atingir a meta de redução do consumo nos transportes em 20% a nível europeu. Estão contemplados também os objetivos delineados na Estratégia Nacional para a Energia (ENE 20) aprovados em Conselho de Ministros em Abril de 2010:

- **Reduzir a dependência energética** face ao exterior, passando de 83/85% em 2007 para **74%** em 2020.

- **Aumento da quota de energia** proveniente de fontes renováveis no consumo final de energia **em 20%** para o valor absoluto de **40%** (por parte do programa europeu), que mais tarde se revelou numa meta **de 60%** por parte da XVIII Governação Portuguesa.

- **Redução de 20% no consumo de energia final** .

- Assegurar uma **cota de energias** renováveis nos transportes **de 10%**.

- **Reduzir o saldo importador** energético com a energia produzida a partir de fontes endógenas. (redução de 25% face a 2008)

- **Consolidar o cluster** das energias renováveis em Portugal (assegurando em 2020 um VAB de 3800 milhões de euros e criando 100 mil novos postos de trabalho).

- **Promover o desenvolvimento sustentável** (criar condições para o cumprimento das metas de redução de emissões dos gases com efeito de estufa, assumidas pelo país)

(1)

4. Enquadramento da situação energética dos Edifícios em Portugal

O conforto térmico de um edifício está muito associado à sua envolvente, e este conceito, é algo que tem vindo a surgir na consciência dos projetistas nas últimas décadas. Conceitos como “Arquitetura Solar Passiva” ou “Arquitetura Bioclimática” veem responder à adaptação de uma determinada arquitetura ao clima, conferindo-lhe um papel fundamental na projeção do edifício. A projeção responde a conceitos fundamentais que visam corresponder à interação de variáveis climáticas como o local, o sol, o vento e a água com o edifício de forma positiva. (3)

Levando em conta estas necessidades, a União Europeia tem divulgado e promovido um conjunto de atitudes e melhorias para o desempenho energético e das condições de conforto dos edifícios. Ao nível da eficiência dos consumos energéticos em edifícios, a primeira regulamentação proposta, com vista, a assegurar as condições de eficiência energética, utilização de sistemas de energias renováveis e ainda requisitos mínimos da qualidade do ar interior de edifícios, foi o denominado RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios, que entrou em vigor no início de 1991. A intenção principal de este regulamento, foi melhorar as condições interiores de conforto que eram tradicionalmente insatisfatórias, encorajando a obtenção desse conforto sem o consumo excessivo de energia. (4)

Posteriormente, em 1992 surgiu o Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RQSECE) (5) e em 1998 o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) (6), nos quais foram estabelecidas exigências para projeto e instalação de sistemas, tendo em vista a sua racionalização energética.

Este regulamento publicado em 1991 (RCCTE) faz o enquadramento de toda uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios, da aplicação dos requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios bem como dos grandes edifícios existentes que sejam sujeitos a grandes obras de renovação e a certificação energética dos edifícios. Um ponto muito relevante de todo este enquadramento é também o processo de certificação energética do edifício que permite informar o cidadão comum sobre o estado térmico deste, permitindo aos futuros utilizadores a obtenção de informações sobre os consumos de energia potenciais (para novos edifícios), reais ou aferidos para padrões de utilização típicos.

Como se pode observar, o gráfico da Figura 8 representa os consumos energéticos (em termos de energia final) em cada setor em Portugal para o ano de 2011.

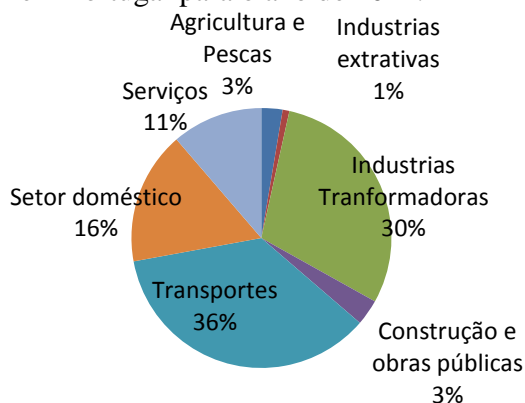


Figura 8 - Repartição do consumo de energia final por setor para o ano de 2011

[Fonte: DGEG]

A representatividade do setor Doméstico e do setor Serviços, tem vindo a diminuir a partir de 2005, estando neste momento (2011) em 27%. Pelo gráfico de barras da Figura 9, repara-se que no período entre 1990 e 2005, registou-se um progressivo aumento do consumo energético (tep), tendo um pico em 2005, seguindo-se de um aligeiramento dos consumos.

É um bom sinal, mas que pode eventualmente não passar de uma repercussão dos efeitos da crise, não representando uma efetiva educação energética nos hábitos dos portugueses, será algo que apenas se entenderá nas próximas décadas.

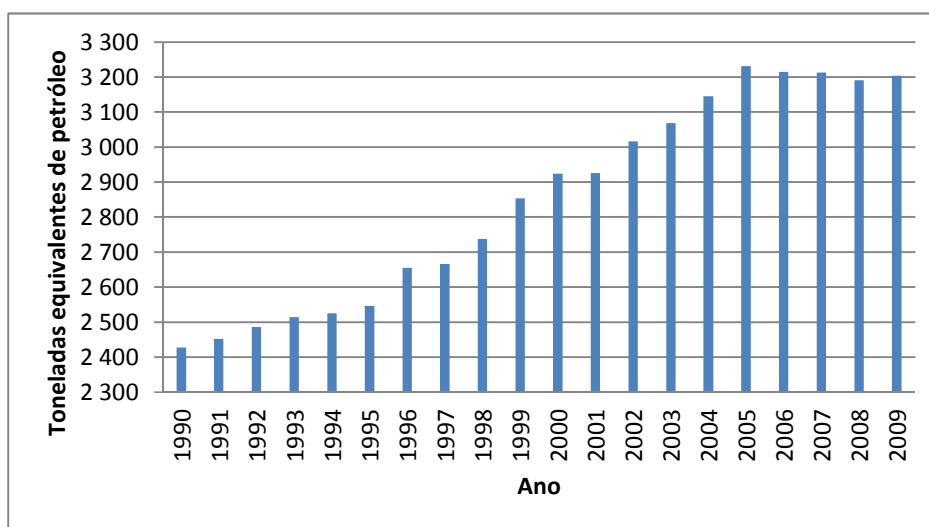


Figura 9 - Evolução Consumo de Energia no setor Doméstico (tep)

[Fonte: DGEG]

Representando os edifícios em Portugal, Edifícios Domésticos e Serviços, cerca de 27%, atrás dos Transportes e Industrias Transformadoras, há certas medidas que devem ser tomadas em atenção e que têm vindo a ser destacadas através do Plano Nacional para a Eficiência Energética (PNEE):

Por um lado, promover a melhoria da eficiência energética nos edifícios, cobrindo todos os tipos de consumo, desde a preparação de água quente sanitária (utilização básica de maior consumo nos edifícios residenciais), passando pela iluminação e equipamentos eletrodomésticos, sem esquecer a melhoria da envolvente tendo em conta o impacto desta nos consumos de climatização (aquecimento, arrefecimento e ventilação) para assegurar o conforto ambiente;

Por outro lado, promover o recurso às energias endógenas nos edifícios, criando os meios e instrumentos que facilitam a penetração das energias renováveis (solar térmico e solar fotovoltaico) e das novas tecnologias energéticas (micro-turbinas para micro-cogeração, células de combustível, etc.), incluindo o estabelecimento das condições para a ligação destes pequenos produtores de eletricidade em baixa tensão à rede elétrica nacional.

4.1 Setor Residencial

A qualidade dos edifícios e do conforto, em sentido lato, a eles associado têm aumentado ao longo do tempo, particularmente nos últimos anos. As necessidades ligadas à higiene (casa de banho, esgotos, água corrente quente e fria, etc.), as necessidades básicas (fogão, frigorífico, etc.), as necessidades de conforto térmico (aquecimento e arrefecimento), e ainda o uso de equipamentos de entretenimento (TV, sistemas de som, ...) e equipamentos elétricos de apoio às tarefas (computadores pessoais, eletrodomésticos, incluindo máquinas de lavar e secar, etc.), são comodidades que foram sendo postas gradualmente à disposição dos utilizadores de edifícios de habitação. Mas tudo tem um custo: as comodidades traduzem-se num acréscimo de investimento e, em geral, num maior consumo de energia e consequente aumento da emissão de gases que contribuem para o aquecimento global.

Em Portugal, o consumo de energia elétrica no setor doméstico apresenta uma elasticidade unitária com o consumo privado que, por sua vez, depende diretamente do rendimento disponível das famílias.

O crescimento sustentado deste indicador, com forte impacto na posse e **utilização de aparelhos consumidores** de energia, tem sido certamente um dos motores da dinâmica da procura de energia elétrica no setor.

Outra causa do aumento dos consumos de energia reside na enorme multiplicidade de **pequenas e grandes ineficiências** resultantes quer dos próprios equipamentos consumidores utilizados no setor, edifícios incluídos, quer dos procedimentos e hábitos de utilização desses equipamentos. É necessário ter presente que os edifícios residenciais são utilizados por um universo de mais de 10 milhões de consumidores, existindo alguma inércia na adoção de padrões eficientes de consumo de energia devido não só a razões comportamentais dos consumidores, como também ao período necessário para a substituição dos equipamentos e progressiva recuperação dos edifícios.

Outro fator, diretamente ligado à eficiência no uso da energia usada em casa, é a quantidade de perdas que se dão através do mau isolamento do elemento habitacional. Remontando à história da eficiência dos edifícios, a idade dos alojamentos está diretamente ligada ao consumo de energia, uma vez que nos edifícios mais antigos as perdas de energia são maiores, tornando-se assim a época de construção uma variável de extrema importância na análise do consumo de energia no parque habitacional, tendo em conta as políticas e medidas que têm sido adotadas no referente à eficiência energética.

O desafio ao nível dos edifícios residenciais é particularmente rico em oportunidades na medida em que o clima em Portugal requer em geral algum aquecimento da moradia, que ao contrário do arrefecimento, pode ser atenuado através de uma adequada arquitetura e construção.

Em Portugal, de acordo com informações obtidas no Inquérito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico (ICESD), somente 7,5% dos alojamentos foram construídos antes de 1946 e 10,8% após 2000. Numa análise em termos regionais, verifica-se que no continente o período de maior construção foi de 1981-1999 (37,6%), seguido do período de 1961-1980 (34,9%). Tomando em conta que, elementos reguladores como RCCTE foram iniciados no início dos anos 90, existe uma grande porção de edifícios, que não está ainda sob a alçada deste regulamento.

A habitação familiar, diverge em duas estruturas de habitação muito distintas, pela sua forma de construção: o Apartamento e a Moradia. O apartamento, corresponde a uma residência onde normalmente habita uma única família inserida num conjunto (prédio) multifamiliar (podendo ser um edifício ou um conjunto habitacional). A moradia, é uma propriedade também destinada a uma única família, e que está incorporada num único lote. Encontra-se tradicionalmente isolada, recuada em relação à rua.

Sendo assim, a moradia pode incutir aos seus habitantes, hábitos de consumos diferentes dos do apartamento. Senão vejamos, em Portugal em 2010, a moradia apresentava um rácio de 120,5 m²/aloj enquanto que o apartamento apresentava um rácio de 96,6 m²/aloj. Estes números dão uma vantagem à moradia em termos área o que por consequência irá ter também um rácio de indivíduos/aloj maior: 2,77 ind/aloj nas moradias para 2,64 ind/aloj nos apartamentos.

No que concerne à de tipologias áreas urbanas, verifica-se que em Portugal nos dois tipos de habitações, encontra-se um índice de individuo/alojamento mais alto em Áreas Mediamente Urbanas (AMU) no valor de 2,9.

Se se desagregar a análise pelos dois tipos de habitações, a Moradia tem um índice mais alto na AMU no valor de 2,9 ind/aloj e o apartamento também na AMU no valor de 3,0 ind/aloj.

Em termos percentuais, o número de indivíduos que vive em moradias, tem um peso mais relevante em Áreas Predominantemente Urbanas (APU) no valor de 26%. Quanto aos apartamentos, apresentam um valor bastante significativo também nesta tipologia de áreas com um valor de 43%.

Sobre a área em análise neste projeto, Área Predominantemente Rural (APR), as moradias apresentam uma presença de número de indivíduos no valor de 12%, como observado na Figura 10. (7)

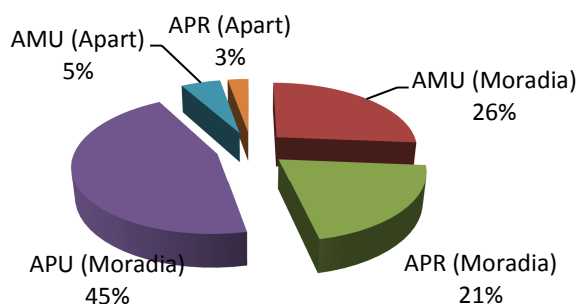


Figura 10 - Caraterização da presença de alojamentos por tipologia de áreas urbanas

[fonte: ICESD]

Em termos médios, é possível averiguar para o conjunto dos dois elementos, números médios indicadores relativos a consumos e despesas, não sendo possível distinguir ambos, devido à inexistência de dados. O consumo por alojamento em 2010 fixava-se em 0,74 toneladas equivalentes de petróleo. (7)

4.1.1 Em termos de procura

No gráfico da Figura 11, apresentam-se os consumos energéticos numa habitação através da desagregação dos consumos em termos de toneladas equivalentes de petróleo, para os vários elementos consumidores de energia na habitação, permitindo fazer **uma análise mais equitativa** do peso de cada energia nos consumo doméstico.

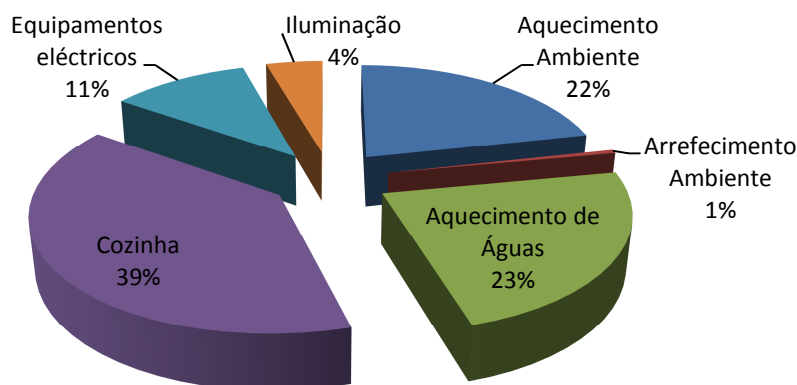


Figura 11 - Consumo de energia primária (tep) nos alojamentos familiares clássicos de residência habitual (2010) por tipo de utilização

Como referido em cima, as ineficiências têm uma importância muito grande no plano geral de consumos de eletricidade, por isso, estando na cozinha acumulado na maior parte das vezes um grande número de aparelhos eléctricos consumidores, como exaustores ou fornos, juntamente com outro tipo de aparelhos de informática e multimédia no resto dos compartimentos da casa, estas fatias assumem o maior peso percentual num total de 50% da eletricidade consumida.

Com estes dados retirados diretamente do Inquérito ao Consumo de Energia no setor Doméstico para 2010 - DGEG, entende-se que na perspectiva da procura, o aquecimento de águas, e aquecimento e arrefecimento ambiente têm um peso relevante no total de energia consumida, abrangendo 46% do total. Existe obviamente uma certa disparidade em termos temporais, tendo em conta que estes dados são relativos ao ano de 2010, mas assumir-se-à que a diferença de um ano não é muito relevante relativamente ao ano de referência (2011).

Dos 22% destacados acima para aquecimento ambiente em 2010, decompõe-se na Figura 13 os vários consumos, tendo a lenha um peso preponderante, sob a forma de madeira, ou pellets. Dá-se assim o seu aproveitamento através de várias formas, como caldeiras, aproveitadores de calor, lareiras, ou salamandras, formas que têm eficiências de aproveitamento muito díspares. O aquecimento ambiente através de coletores solares térmicos, tem simplesmente uma presença quase nula (próximo de zero) em termos aquecimento ambiente, aspeto esse que se revela preocupante, tendo em conta que o sol, é a nossa fonte única, gratuita e infinita de energia.

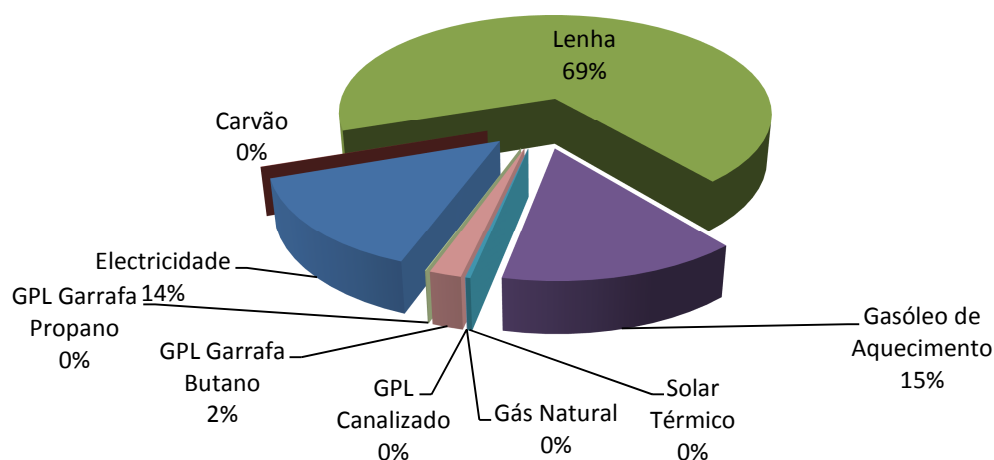


Figura 13 - Consumos em Aquecimento Ambiente em 2010

Para o aquecimento de águas, que pesa cerca de 23% no total dos consumos domésticos, verifica-se uma fragmentação mais vasta como apresentado na Figura 12. Relativamente à energia solar térmica, que vai ser investigada nesta dissertação no âmbito de um sistema de aquecimento, há apenas um uso total de 3% dos consumidores, o que é um valor francamente baixo.

Tendo em conta que estes valores são relativos a 2010 e que entretanto as políticas impostas pelo RCCTE obrigam à instalação de coletores solares em edifícios novos ou sob reabilitação, podemos assumir, que esta percentagem, em 2 anos, cresceu substancialmente.

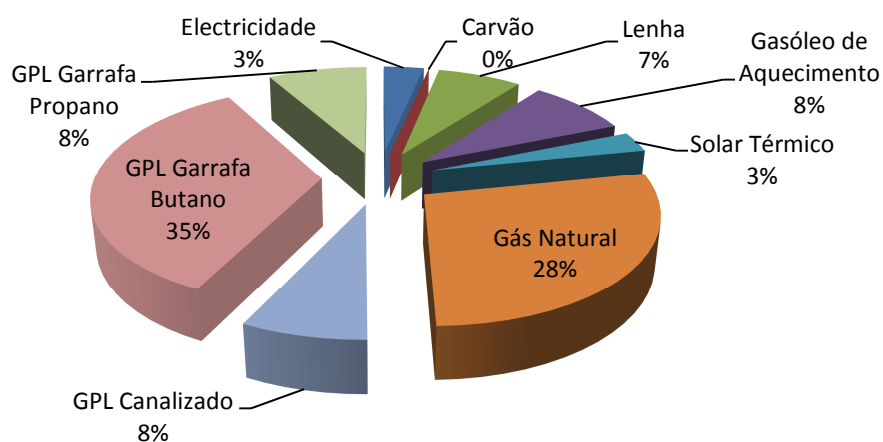


Figura 12 - Consumos de energia para aquecimento de águas (tep) em 2010

4.1.2 Em termos de oferta

Em termos de oferta, na figura seguinte podemos retirar conclusões parciais relativamente ao objetivo final dos produtos energéticos. O gasóleo de aquecimento, ocupa um terço da totalidade das fontes de energia do alojamento familiar português.

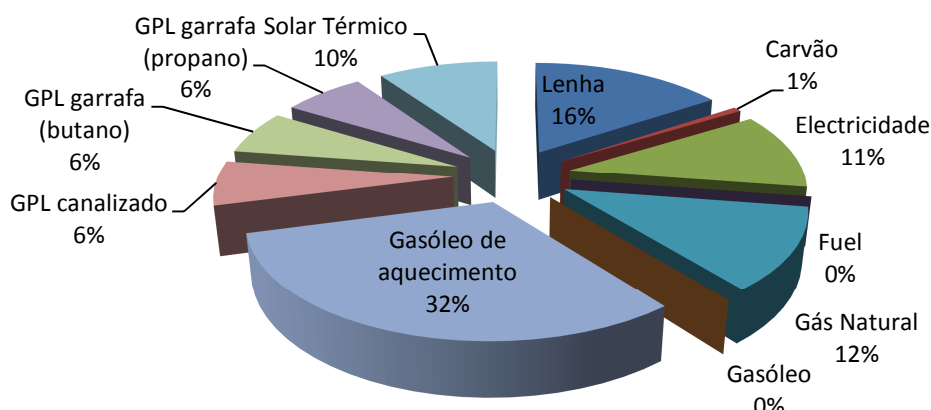


Figura 14 - Consumo médio de energia por alojamento familiar clássico de residência habitual por tipo de fonte de energia (2011)(tep)

[fonte: ine.pt]

Assim, o gasóleo de aquecimento com um consumo médio de 32% aparenta ser o menos substituível, levando em conta que todas as outras fontes estão bastante fragmentadas em termos de peso percentual. Como combustível derivado do petróleo, e por isso limitado relativamente ao vellozo consumo de combustíveis fósseis pelo Homem, e também dependente de outros processos de conversão, é imprescindível dar espaço para o desenvolvimento de novas formas de aquecimento e arrefecimento que dependam maioritariamente de energias endógenas, tal e qual como será abordado nos capítulos seguintes.

4.1.3 Que alternativas? Como responder às necessidades de uma habitação?

As soluções escolhidas por cada habitante para o seu sistema de aquecimento doméstico, depende de vários fatores como, o local onde mora, a existência de sistemas de aquecimento já instalados no sítio que escolheu, a pre-disposição para se adaptar a um sistema fora do normal, a sua formação pessoal, o custo etc. Obviamente o custo tem o papel mais preponderante, na escolha da maioria das pessoas.

A abordagem feita a esta tipologia de habitação será da forma mais pragmática possível. Serão listadas e compreendidas todas as formas de energia, que poderiam solucionar o hiato energético criado por um grupo de pessoas que vive diariamente numa casa, em família ou entre amigos e que levam uma vida normal durante um período anual de 365 dias que se divide no período de aquecimento e no período de arrefecimento.

A análise seguinte vai se basear em dados recolhidos no Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico (ICESD) feito em 2010, construído através de uma recolha substantiva de

dados sobre o consumo de energia no sector doméstico em Portugal, realizado pela colaboração entre a Direção Geral de Energia e Geologia e o Instituto Nacional de Estatística.

Que tipologias existem ao dispor do consumo doméstico?

De acordo com os dados recolhidos no ICESD, foi possível identificar tipos de fonte de energia, tais como: Eletricidade, Lenha, GPL Butano, GPL Propano, Gás Natural, GPL canalizado, Gasóleo de Aquecimento, Solar Térmico e Carvão. Admite-se que a eletricidade, é proveniente no seu todo da rede de energia nacional.

A informação proveniente deste relatório do ICESD, indica o total de toneladas equivalentes de petróleo consumidas, os custos totais associados a esse número de teps por cada fonte de energia, e o numero de alojamentos que consomem essa fonte de energia.

Desta forma, é possível depreender, valores médios para os custos associados a uma unidade de tep [Euros/tep], a quantidade de tep consumidas por alojamento [tep/aloj] e consequentemente os custos associados à despesa por alojamento por tipo de fonte [euros/aloj].

Como valor indicativo, do consumo médio por alojamento, servirá um valor médio do quociente entre o consumo total de todas as fontes de energia, e todo o universo de alojamentos existente.

É também possível tomar conhecimento, da percentagem de alojamentos que consome cada uma destas fontes. Atente-se à Tabela 1:

Tabela 1 - Dados depreendidos do ICESD

	Euros/tep	Quantidade de alojamentos que consomem energia [%]	tep/aloj	Euros/aloj	Consumo por alojamento [tep]
Electricidade	1655,38	99,9%	0,316	523	0,742
Lenha	161,39	40,1%	0,448	171	
GPL butano	1441,33	56,1%	0,180	259	
GPL Propano	1645,65	11,8%	0,189	312	
Gás Natural	736,09	19,8%	0,338	249	
GPL Canalizado	1599,87	9,7%	0,185	297	
Gasóleo de aquecimento	844,79	3,6%	0,905	765	
Solar térmico	922	1,8%	0,278		
Carvão	1057,54	8,5%	0,020	21	

Visando a estimativa dos custos anuais, de uma habitação que neutralize as suas necessidades energéticas, procedeu-se à junção das fontes de energia mais comuns, ou seja com um nível de uso percentual mais alto, pretendendo abranger, os casos mais comuns. Está incluído neste exercício de estimativa, a Lenha com o Solar Térmico.

Estimou-se o uso conjugado numa habitação de Lenha e Solar Térmico, Eletricidade com Gás Butano, Eletricidade e Lenha, Eletricidade e Gás Natural. Para isso identificou-se o consumo

médio de cada uma das fontes (tep/alój) e somou-se. Igualmente com os custos associados a cada uma das fontes.

Quando as necessidades de consumo médio não eram neutralizadas pela junção dos valores médios dos consumos, atingindo ou aproximando-se dos 0,742 teps/alójamento, adicionou-se em parte uma das duas fontes, resultando em dois valores de custos associados anuais distintos:

Tabela 2 - Situações hipotéticas para o uso de dois tipos de energias

Simulando o uso de...				
	Lenha + Solar Térmico	Eletricidade + Gás butano	Eletricidade + Lenha	Eletricidade + Gás Natural
Consumos [tep/alój]	0,73	0,50	0,76	0,65
Custos [Euros]	803,98	2704,98 2652,32	1348,05	1920,15 1839,25

A primeira solução, aquela que está em análise nesta dissertação, apresenta um valor apetecível, mas que não representa a realidade, porque é raro o alojamento que não tenha algum tipo de aparelho com uma dependência elétrica, ou simplesmente iluminação. Pela Figura 11 podemos observar que a cozinha representa 39% desses consumos, onde eletrodomésticos como forno, fogão ou frigorífico são essenciais, e consumidores de energia elétrica.

Valor dos custos anuais do uso de Solar Térmico

Relativamente ao valor dos custos por teps, na tecnologia do solar térmico, recorreu-se a uma estimativa, através de uma tabela BaxiRoca. Usou-se um modelo compacto disponível SolarEasy ACS, para 3 pessoas.

Usando o valor relativo à totalidade do solar térmico em Portugal de 19105 teps, em 68824 alojamentos em 2010 e considerando que cada alojamento tem em média 2,71 pessoas, aproximadamente 3 foi possível fazer uma estimativa de 0,278 teps/alój de consumo por ST.

O modelo usado da baxiroca, utiliza 1 depósito acumulador de 200L, com 2 coletores solares, e custa 4000€. Usando um custo de instalação de 1000€, obtém-se um total de 5000 €.

Para formar um valor relativo à despesa anual [Euros/(tep*ano)], dividiu-se os custos totais, para 20 anos (período de duração médio de um coletor) pelo número de teps consumidos por alojamento para esse período, valor este proveniente dos dados relativos aos consumidores do solar térmico.

Em síntese

Segundo a análise feita pelos dados recolhidos no ICESD, a solução de queima de biomassa como a lenha aliada à energia solar térmica, a 20 anos revela-se uma solução de custos reduzidos, e ainda que, ao se juntar o uso de 523€ euros/aloj. em termos de energia eléctrica, o valor total suba para 1300€, tornando-se igualmente competitivo com as restantes soluções. Esta é sem dúvida a solução menos prejudicial ao meio ambiente por fazer uso de tipos de energia teoricamente inesgotáveis.

A hipótese que se segue em termos de custos é o uso de eletricidade aliado ao uso de lenha, solução adotada habitualmente nas nossas casas com grande peso de utilização, devido a sua facilidade de utilização.

5. Um projeto de remodelação e beneficiação das características energéticas de uma casa em Covelães

Fruto de uma cooperação entre serviços públicos – Direção do Parque Nacional da Peneda Gerês e a universidade, este projeto nasceu de uma vontade de remodelar uma casa antiga igual a tantas outras existentes na aldeia de Covelães no Gerês, com o objetivo prático de servir os grupos de cientistas que passam temporadas em zonas de serra profunda, para poderem executar os seus estudos de campo, no espaço confortável e estável, sem estarem submetidos às condições meteorológicas rigorosas que a serra do Gerês em algumas zona proporciona. Mas não teve apenas este propósito prático. Como forma de exemplo pedagogicamente útil, foi explorada como projeto com carácter demonstrativo da iniciativa em relação aos residentes colocados na mesma situação. O seu projeto de remodelação passou, pela aplicação de um sistema de aquecimento ambiente e águas sanitárias pouco comum na década de aplicação, anos 80, a conjugação de uma solução integrada, rejeitando a ideia de “energia solar-gadget” e procurando tirar partido da lenha tradicionalmente utilizada aliada ao painel solar térmico. Fez também uso do conceito, ainda pouco popular na época, Arquitetura Solar Passiva, através da reorientação dos espaços da casa, passando pela mudança da localização dos quartos, mudança das zonas de acesso, estudo das características térmicas da envolvente, numa tentativa de tirar o máximo partido do sol como fonte de energia.

Não destacado no número de apresentação do projeto, mas igualmente importante, este projeto faz uso de tecnologias “amigas do ambiente”, isto é, teoricamente não-prejudiciais ao ambiente em termos de emissões gasosas tóxicas para a camada de ozono, e efeito de estufa, o que é sem dúvida uma vantagem nos dias de hoje muito valorizada.

5.1 Apresentação do Projeto

Trata-se de uma casa formada por dois corpos retangulares e alinhados na direção SE.NW, o menor dos quais, do lado sul, desnivelado do primeiro no sentido do declive do terreno. Esta parte é um acrescento posterior. O projeto em corte da fachada de cobertura é apresentado na Figura 15.

A casa apresenta uma área coberta de 90 metros quadrados, e é apropriada para acolher 6 pessoas. Aqui apresenta-se o projeto proposto na brochura.

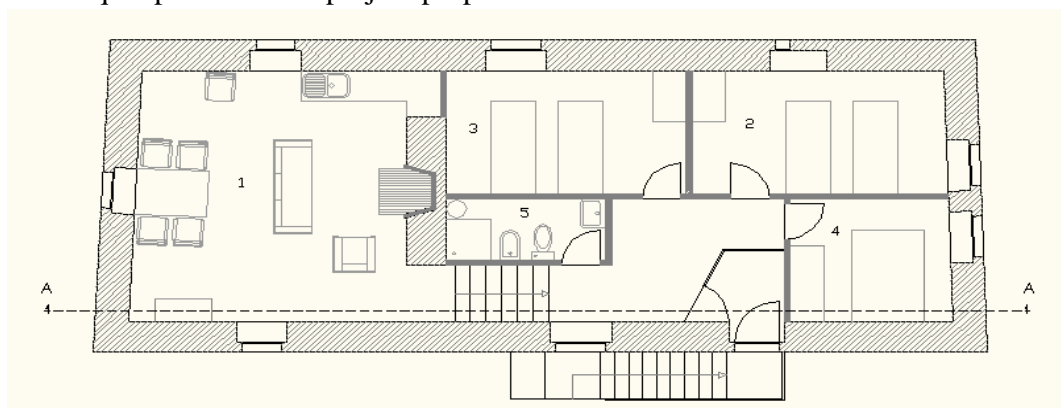


Figura 15 - Projeto de Autocad da moradia em análise, situada em Covelães

É uma moradia convencional, que apresenta as seguintes áreas apresentadas na Tabela 3:
Tabela 3 - Espaços da moradia e respetivas áreas

Numero	Espaços	Áreas
1	Sala	25,14
2	Quarto Principal	10,20
3	Quarto da Sala	9,67
4	Quarto Norte	6,43
5	Quarto de Banho	3,20

Devido às necessidades de conforto que os futuros propósitos da casa apresentavam, foram propostas algumas alterações:

5.1.1 Em termos de Espaços interiores

Em relação à estrutura anterior da casa, foram apresentadas simples modificações, que trouxeram vantagens, de uma forma mais ou menos evidente:

A eliminação do corredor de acesso aos quartos ao longo da fachada sul, deu lugar a dois quartos (2 e 3) com essa orientação que gozam da exposição solar vantajada que esse lado possui.

A localização da lareira junto à parede adjacente ao quarto de banho e a um dos quartos, pode eventualmente favorecer a utilização dessa parede como massa de inércia térmica.

A colocação do cilindro para aquecimento de águas domésticas na casa de banho para aquecimento desta através das perdas do cilindro.

A utilização do calor da lareira para aquecimento das águas que passam no seu interior através de grelha tubular, multiplicando a capacidade de aquecimento da lareira mediante o aproveitamento do calor perdido nos gases libertados para atmosfera.

Instalação no quarto da fachada NW de um reservatório acumulador de água aquecido através da conjugação da lareira e dos coletores solares.

Redução da dimensão do quarto a norte procurando facilitar assim o seu aquecimento.

Fecho do acesso da cave à sala comum a fim de assegurar um ambiente de conforto no interior desta, prevenindo possíveis correntes de ar.

Adoção de um guarda-vento na zona da porta de entrada para atenuar os efeitos das infiltrações intensificados pela tiragem da chaminé.

5.1.2 Em termos de aplicação de sistemas de aquecimento

Os equipamentos propostos, foram a aplicação de equipamento, hoje em dia convencional: coletores solares e uma grelha tubular na lareira. Coletores com uma área de captação de 6 metros quadrados, orientados a Sul, sobre a cobertura da sala comum e associados a um depósito com uma capacidade 300L. Os coletores aquecem a água quente sanitária por termossifão, sendo referido que o depósito se encontrará abaixo do nível dos mesmos.

6. Definição da Problemática

Para este projeto, procurou-se especificar alguns dados considerados razoáveis segundo as circunstâncias, levando em conta a carência de dados claros dos parâmetros relevantes (dimensões, condições, etc). Aqui serão definidos os seus contornos, as suas dificuldades, e as suas soluções.

Começar-se-à por definir, as condições de projeto. Elementos como, as temperaturas exteriores máximas e mínimas, humidade relativa, exposição solar em termos de graus-dias, características que fazem parte dos dados iniciais do problema.

De seguida, definir-se-à, de acordo com o Regulamento das Características Térmicas do Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE), as Limitações das Necessidades e as Necessidades, tanto para aquecimento das águas quentes sanitárias (AQS) como para aquecimento do meio ambiente.

Após esta fase inicial, expor-se-à as modificações e mesmo características previamente definidas sujeitas a fragilidades mais evidentes e as menos evidentes, que merecem a devida atenção. Serão propostas soluções.

As condições exteriores

De acordo com o SolTerm, foi possível obter um conjunto de dados que caracteriza as temperaturas exteriores e a exposição na zona. Covelães é uma aldeia inserida, perto dos limites do Parque Peneda Gerês, a oeste de Montalegre. Os dados captados pela estação meteorológica de Montalegre permitiram, medir as temperaturas, humidades relativa, irradiação solar diária e índice de claridade. Na Tabela 4 apresenta-se as temperaturas médias mínimas e máximas, a humidade relativa e o número de graus-dias (número que caracteriza a severidade de um clima durante a estação de aquecimento) para o período de aquecimento referido no RCCTE (7,7 meses do ano em Montalegre, período que pode ir num máximo de 1 de Outubro a 31 de Maio):

Tabela 4 - Temperaturas máximas e mínimas em Montalegre

Média Temperaturas Máximas Exteriores	Média Temperaturas Mínimas Exteriores
[°C]	[°C]
14,46	5,78

Tabela 5 - Humidade relativa e número de graus-dias em Montalegre

Humidade Relativa [%]	Número de Graus-Dias
75,25	2820

Levando em conta que, esta casa serviu de albergue a guardas florestais, estará eventualmente localizada num ponto remoto na serra. E claro, a serra está exposta a máximas e mínimas um pouco mais acentuadas que as referidas anteriormente, uma vez que, as zonas montanhosas estão sujeitas aos movimentos de ascensão do calor formado ao nível do mar, aliado à proteção das grandes correntes de ar propícias nas planícies, que nesse local não servem como elemento

climatizador. A vegetação que possa eventualmente circundar a casa, é uma grande contribuição também para o aumento da humidade relativa.

Zona Climática

A correta previsão do desempenho térmico e energético dos edifícios, e a conceção adequada das disposições construtivas e dos sistemas que contribuem para a correção natural ou artificial das respetivas condições termo-higrométricas ambientes exigem, entre outros fatores, o conhecimento das características climáticas dos locais de implementação desses edifícios.

Este processo conduz, à divisão do país em três zonas climáticas de Inverno (I1, I2, I3), e em três zonas climáticas de verão (V1, V2, V3). A delimitação destas zonas é diferente no verão e no inverno.

As zonas de Verão estão divididas na região Norte, e região Sul. A região Sul abrange toda a área a sul do rio Tejo e ainda os seguintes concelhos dos distritos de Lisboa e Santarém: Lisboa, Oeiras, Cascais, Amadora, Loures, Odivelas, Vila Franca de Xira, Azambuja, Cartaxo e Santarém.

As zonas climáticas de Montalegre são apresentadas na Tabela 6:

Tabela 6 - Zona climática de Montalegre

Zona Climática - Montalegre	
Período de Aquecimento	Período de Arrefecimento
I3	V1

6.1 Definição das necessidades energéticas

6.1.1 Aquecimento de água quente sanitária

De acordo com a legislação portuguesa, no projeto dos edifícios de habitação e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados, deve-se respeitar as regras do regulamento RCCTE, sendo um dos seus objetivos que “As exigências de conforto térmico, seja ele de aquecimento ou de arrefecimento, e de ventilação para garantia de qualidade do ar no interior dos edifícios, bem como as necessidades de água quente sanitária, possam vir a ser satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia”.

O regulamento referido também se aplica às grandes intervenções de remodelação ou de alteração (cujo valor seja superior a 25% do valor do edifício) na envolvente ou nas instalações de preparação de AQS dos edifícios de habitação e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados já existentes.

Este regulamento diz:

- “o recurso a sistemas de coletores solares térmicos para aquecimento de água quente sanitária nos edifícios abrangidos pelo RCCTE é obrigatório sempre que haja exposição solar adequada, na base de 1 m² de coletor por ocupante convencional previsto,...”...podendo este

valor ser reduzido por forma a não ultrapassar 50% da área de cobertura total disponível, em terraço ou nas vertentes orientadas no quadrante sul, entre sudeste e sudoeste”.

- “...entende-se como exposição solar adequada a existência de cobertura em terraço ou cobertura inclinada com água cuja normal esteja orientada numa gama de azimutes de 90° entre sudeste e sudoeste, que não sejam sombreadas por obstáculos significativos no período que se inicia diariamente duas horas depois do nascer do sol e termina duas horas antes do por do sol”.
- “Em alternativa à utilização de coletores solares térmicos podem ser utilizáveis quaisquer outras formas renováveis de energia que captem, numa base anual, energia equivalente à dos coletores solares, podendo ser esta utilizada para outros fins que não a de aquecimento de água se tal for mais eficiente ou conveniente.”

Segundo este regulamento, aprovado a 6 de Fevereiro de 2006 em Conselho de Ministros, no capítulo III artigo 7º, existe uma “**Limitação das Necessidades Nominais de Energia Útil para a Produção de Água Quente Sanitária** (Na)”.

“Como resultado dos tipos e eficiências dos equipamentos de produção de água quente sanitária, bem como da utilização de formas de energias renováveis, cada fração autónoma não pode, sob condições e padrões de utilização nominais, exceder um valor máximo admissível de necessidades nominais anuais de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias (Na), fixado no artigo 15º.”

Citando o artigo 15º, no âmbito do capítulo V:

Para **condições interiores de referência**: “O consumo de referência de água quente sanitária para utilização em edifícios de habitação é de 40l de água quente a 60°C por pessoa e por dia”

Para valores limites das necessidades nominais de energia útil para preparação de águas quentes sanitárias: “...o limite máximo para os valores das necessidades de energia para a preparação das águas quentes sanitárias (Na) é definido na equação seguinte:

(Eq. 1)

$$Na = 0,081 \cdot Maqs \cdot nd / Ap \quad (\text{Kwh/ano})$$

O RCCTE expõe um método de cálculo das **necessidades de energia para a preparação de água quente sanitária**, consoante o tipo de habitação em questão (Nac).

(Eq. 2)

$$Nac = (Qa / \eta - Esolar - Erend) / Ap$$

A energia útil (Qa) despendida com sistemas convencionais de preparação de AQS (Na) pode ser calcula através de um cálculo simples de balanço de calor:

(Eq. 3)

$$Qa = (Maqs \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot nd) / 3600000$$

6.1.2 Aquecimento do meio ambiente

Segundo o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado a 6 de Fevereiro de 2006 em Conselho de Ministros, no capítulo III artigo 5º, existe uma “**Limitação das necessidades nominais de energia útil para aquecimento**”, o que significa que:

“ Cada fração autónoma de um edifício abrangido por este regulamento, não pode, como resultado das sua morfologia, da qualidade térmica da sua envolvente e tendo em conta o aproveitamento dos ganhos solares e internos e de outras formas de energias renováveis, exceder um valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (Ni), fixado no artigo 15º”

Citando o artigo 15º no âmbito do capítulo V:

“Os valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento traduzem-se numa dependência dos valores do Fator de Forma (FF) da fração autónoma, em kWh/(m².ano) e dos graus-dias (GD) do clima local.”

A estes dois parâmetros estão associados fatores como as perdas de calor por condução, perdas de calor por renovação de ar e ganhos de calor uteis, dos equipamentos, da iluminação ou dos ocupantes.

Uma vez que, a análise associada a estes parâmetros está fora do âmbito deste projeto, foi proposto pelo professor Eduardo Oliveira Fernandes, um valor tipo para o máximo consumo de aquecimento necessário, de 80 W/m², valor que toma em conta características standard de qualidade térmica de edifícios, a nível de isolamento, infiltrações ou pontes térmicas.

Este valor limite proposto, irá responder às **condições de referência** patentes no RCCTE:

“uma temperatura do ar de 20º para a estação de aquecimento e uma temperatura do ar de 25ºC e 50% de humidade relativa para a estação de arrefecimento.”

Como forma de impor um teto, às necessidades térmicas que um edifício pode ter, através de uma característica diretamente relacionada com os materiais que formam as superfícies dos elementos interiores e exteriores, existem os chamados “**Coefficientes de transmissão térmica máximos admissíveis**” apresentados na Tabela 7:

“Nenhum elemento da envolvente de qualquer edifício pode ter um coeficiente transmissão térmica em zona corrente (U) superior ao valor correspondente ao quadro IX.1.”

(Eq. 4)

$$Q = A.U.(T_{ref} - T_{minimas, exterior})$$

A temperatura mínima no exterior a usar é composta pela média dos meses do período de aquecimento.

As duas tipologias que são aqui usadas, são Elementos Exteriores em Zona Corrente, em que zona corrente são zonas utilizadas regularmente, orientadas na horizontal e na vertical e também vãos envidraçados com mais de 5% da área útil do espaço que servem. Dependem da zona climática do país em que estão (Montalegre):

Tabela 7- Coeficientes de Transmissão térmica máxima admissível

Elemento da Envolvente	Zona Climática/Coeficiente [W/(m².°C)]
Elemento exterior em zona corrente - Zona opaca vertical	I3 / 1,45
Elemento exterior em zona corrente - Zona opaca Horizontal	I3 / 0,9
Vãos envidraçados - inércia térmica Média/Forte (adimensional)	V1/ 0,56

6.2 Componentes do sistema de aquecimento de AQS e meio ambiente usados neste projeto

6.2.1 Coletores Térmicos Solares

Os coletores têm por função captar a energia solar e transferi-la para o fluido térmico que circula no seu interior. Existem diversos tipos de coletores, sendo os mais utilizados para a produção de AQS os coletores solares planos seletivos, por geralmente apresentarem a melhor relação custo-desempenho. Por este motivo, para a construção do caso de estudo deste trabalho será considerado este tipo de coletores. Tal como representado na Figura 16 seguinte, estes costumam ser constituídos na parte lateral e parte de trás, por uma estrutura em forma de caixa, que tem por função suportar os diversos componentes do coletor e possuir pontos de fixação onde, através de suportes adequados, serão fixos à cobertura do edifício.

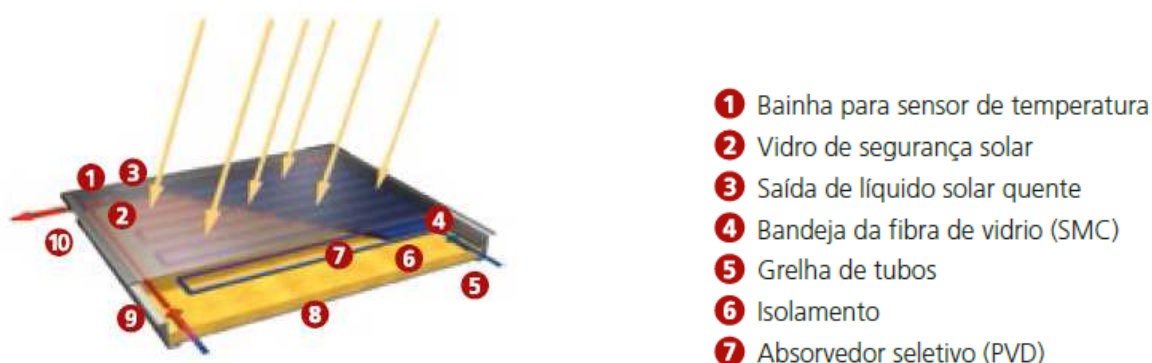


Figura 16 - Representação em corte de um coletor solar plano do modelo FKT-1S

[Fonte: Vulcano.pt]

Sobre a caixa do coletor assenta uma cobertura transparente, geralmente de um vidro com propriedades seletivas, que permite elevada transmissibilidade (τ) e baixa refletividade (ρ), maximizando a transmissão da radiação solar incidente para o interior do coletor.

No interior do coletor, encontra-se um absorsor, constituído por uma chapa (ou várias chapas em paralelo, de menor dimensão), unidas por soldadura ou prensagem, a um ou dois tubos em forma de serpentina, ou uma grelha de tubos paralelos, ligados nas extremidades a dois tubos de diâmetros superiores, como é o caso da figura anterior

Estes tubos costumam ser de cobre, devido à elevada condutibilidade térmica do mesmo. Em alternativa, alguns coletores possuem os canais moldados nas próprias chapas do absorsor.

O absorsor é então responsável por absorver a radiação solar nele incidente e transferir a energia térmica para o fluido que circula nos tubos ou canais a ele anexos. Para se maximizar a absorção da energia captada e diminuir a emissão da mesma, costuma também ser aplicado, sobre a chapa metálica do absorsor, um revestimento seletivo que apresente uma absorção (α) distinta para os pequenos e grandes comprimentos de onda, minimizando as perdas.

Entre o absorsor (e o conjunto de tubos a ele unidos) e a caixa do coletor solar, existe ainda um isolamento, de material adequado para suportar as temperaturas que se podem atingir, de forma a minimizar as perdas de energia pela superfície da caixa. Geralmente é utilizada a lã de rocha ou a lã de vidro

O conjunto de componentes do coletor acabados de referir, sobretudo a caixa e a cobertura transparente, bem como as fixações dos coletores à cobertura, devem possuir robustez suficiente para suportar os esforços elevados a que os coletores estão sujeitos durante a sua vida útil, sobretudo devido à ação do peso da neve e dos ventos fortes, característicos em zona de serra. Devem ainda possuir elevada durabilidade, de forma a atingirem, desde que sujeitos a manutenção adequada, um longo período de vida útil maximizando o retorno no seu investimento.

A análise do desempenho de um coletor solar é feita através da medição de um conjunto de parâmetros, em que os mais relevantes, se definem da seguinte forma:

- Eficiência do coletor (η): “razão entre a energia convertida em calor e a radiação incidente no coletor. Depende da diferença de temperatura entre o absorsor e o meio ambiente, bem como da radiação solar global”.
- Eficiência óptica do coletor (fator de conversão η_0): “percentagem de radiação incidente no coletor que pode ser convertida em calor e dada pelo produto da transmissividade da cobertura com a absorvidade do absorsor ($\eta_0 = \tau \cdot \alpha$). Corresponde à situação em que o fluido no painel se encontra à temperatura ambiente, ou seja, quando as perdas por condução convecção são nulas”.
- Temperatura de estagnação: “temperatura máxima que o absorsor pode atingir e tem lugar quando as perdas de calor para a atmosfera forem iguais ao calor absorvido pelo absorsor”.

De forma a permitir uma comparação correta entre diversos coletores, de diferentes fornecedores, existem identidades certificadas, e normas definidas, para a obtenção dos seus valores de desempenho, os quais são então compilados em formatos adequados. Estes dados costumam estar disponíveis em sites partilhados, para consulta pelos profissionais da área.

Na Europa (inclusive no nosso país), a norma principal para a determinação dos valores característicos dos coletores é a norma EN12975 que, para a determinação da curva característica do rendimento de um coletor solar, aplica a seguinte conhecida expressão da (Eq. 5):

(Eq. 5)

$$\eta = \eta_0 - (a_1) * \frac{(T_m - T_a)}{E_g} - (a_2) * \frac{(T_m - T_a)^2}{E_g}$$

Sendo que, além dos símbolos anteriormente definidos, temos:

- a_1 – Coeficiente linear de perdas térmicas [W/m².K]
- a_2 - Coeficiente quadráticos de perdas térmicas [W/m².K]
- T_m – Temperatura média de trabalho do fluido no absorsor [K]
- T_a – Temperatura ambiente [K]
- E_g – Irradiância [W/m²]

(8)

6.2.2 Recuperador de calor

A conceção de sistemas de aquecimento, como por exemplo de lareiras, é um desafio no que se refere a fornecer uma taxa controlada de saída de calor ao longo de um determinado período de tempo, enquanto é capturado o máximo de calor libertado pelo combustível. Em geral, faz-se o controlo da saída de calor regulando a entrada de ar para a combustão. A limitação da entrada de ar faz com que a combustão não seja completa, provocando emissões muito altas de gases, a menos que tenha incorporado um sistema secundário de queima bastante eficaz para controlar estas emissões

Ao longo das últimas décadas, uma das principais preocupações dos projetistas de sistemas de aquecimento tem sido o desenvolvimento de sistemas eficientes de queima pura e limpa. Surgiram várias soluções, uma das quais foi a de utilizar sistemas onde o calor é acumulado por sistemas de alta massa térmica (fogões), permitindo ao sistema operar com uma elevada taxa de queima de modo a não requer tanto ar. Assim, a sua capacidade de acumulação de calor fornece uma taxa de queima aceitável e uma boa duração da libertação de calor. (9)

Um fogão a lenha é um sistema autónomo que tem como principal objetivo aquecer o espaço no qual está localizado, libertando calor útil por radiação e convecção no seu exterior. Apesar de todos os fogões utilizarem as duas formas de transferência de calor, estes são geralmente classificados como fogões de radiação ou de circulação (convecção), consoante o seu modo principal de transferência de calor. (9) (10)

Em termos de transferência de calor os fogões e as lareiras funcionam de forma semelhante. Porém as lareiras exigem um sistema de transferência de calor muito mais elaborado de modo a evitar excessivas perdas de calor. O calor emitido pela chama é transferido por radiação

principalmente através da porta de vidro. No entanto, o mecanismo de transferência de calor por convecção também desempenha um papel de extrema importância.

Uma lareira a lenha com recuperador de calor, vulgarmente chamada recuperador de calor, é um sistema de aquecimento que possui um recuperador de calor, o qual é um equipamento que possibilita a transferência de calor entre um fluido (mais) quente e um (mais) frio. O objetivo principal deste equipamento é o de recuperar o calor perdido pelos gases de combustão, expelindo-os para a chaminé depois da passagem pelo recuperador.

Os recuperadores de calor podem ser classificados de acordo com os seguintes critérios :

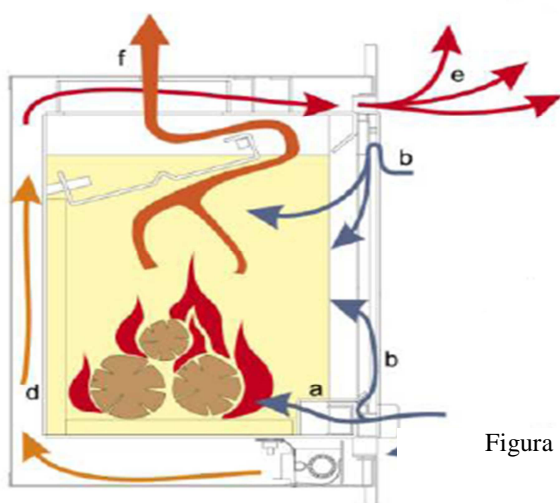
- Número de fluidos: gás - gás, gás – líquido e líquido – líquido;
- Arranjo dos escoamentos: passagens simples e passagens múltiplas;
- Processos de transferência: contacto directo e indirecto;
- Tipos construtivos: tubulares, placas, regenerativos e compactos.

(11)

Quanto ao arranjo dos escoamentos em passagens simples há três configurações básicas: recuperadores de escoamentos paralelos, de escoamentos em contra-corrente (escoamentos opostos) e o de escoamentos cruzados. (10)

Os mecanismos de distribuição do ar

Na Figura 17 estão esquematizados os principais escoamentos de ar existentes numa lareira a lenha. O recuperador de calor não está aqui representado, ou seja, a serpentina onde circula o fluido que absorve o calor perdido pelos gases de combustão não aparece na figura, mas poderia estar representada no lugar da caixa branca que os gases (f) atravessam:



Legenda

- a. Ar aspirado à base da queima
- b. Ar de limpeza de vidro
- c. Entrada de ar frio
- d. Aquecimento gradual do fluxo de ar frio
- e. Fluxo de ar quente
- f. Escoamento dos gases de combustão

Figura 17 - Escoamento de ar num recuperador de calor

[Fonte: fogocalor.pt]

Dois reguladores de caudal fazem o controlo da saída (f) e entrada (c) de calor, o que permite, controlar dois parâmetros:

- Na entrada: a quantidade de calor que se gera na combustão, dependendo da existência de excesso de ar ou defeito de ar.
- Na saída (sistema de deflectores que constitui um gargalo de estrangulamento): permite regular a saída de gases, o que por consequência permite ganhar tempo para a absorção do calor prestes a sair pela chaminé, calor este que é absorvido por convecção.

O ar vindo do exterior distribui-se por **duas entradas**, para uma eficiente combustão das achas de madeira:

- Uma entrada está situada na parede do fundo, através de pequenos furos, que permitem a entrada de oxigénio que inflama os gases não queimados na parte superior da chama (corrente de ar d, não especificado na figura).
- A outra entrada está situada na base das chamas.

Uma conduta ligada ao exterior fornece o ar necessário à combustão. Esta pode ser regulada por uma **pequena turbina** para fazer o aumento da velocidade de caudal, para aqueles dias em que as diferenças de temperaturas não são muito acentuadas, e homogeneizar a temperatura da envolvente da peça. Tem como consequência um aumento de cerca de 6-7% do rendimento.

Um limitador de temperatura, pode estar associado ao ventilador (turbina), ligando quando existe combustão, e desligando quando o calor expelido está abaixo de uma certa quantidade, abaixo do limite imposto pelo utilizador. (11)

6.2.3 Convectores

O aquecimento central por convectores, elementos emissores de calor, trata-se do sistema mais comum por aquecimento de água. Tem por base um depósito acumulador que, através de uma bomba, faz chegar aos convectores um fluido a uma temperatura superior à temperatura ambiente.

A regulação do calor faz-se através da regulação da torneira que controla o caudal que neles passa. Existem dois tipos, principais de torneiras, as simples e as termostáticas. Estas últimas, regulam automaticamente o caudal em função da temperatura seleccionada, o que se traduz numa redução efetiva de consumo.

O desenho dos convectores, deve ser tal que permita uma circulação natural do ar, que devido às diferenças de temperatura, se espalha por convecção pelas divisões. Uma vez que o convetor está mais quente que o ar circundante, uma certa quantidade de calor é transferido naturalmente para o ar, à medida que, a temperatura da água diminui. Este processo chama-se convecção natural.

Ocorre por causas naturais (impulsão, efeito de chaminé,...) distinguindo-se da convecção forçada pelo fato de o movimento não ser imposto exteriormente. O movimento do ar, desenvolve-se num campo mássico (gravítico ou centrífugo) quando a ocorrência de uma diferença de temperaturas, provoca uma diferença de massa volúmica (diferença de pressões) no meio do fluido. Na maioria das vezes, o movimento não se sente fisicamente, uma vez que as velocidades são tipicamente inferiores a 1 m/s. (10)

O ar mais quente, preenchendo as camadas superiores, mais próximas do teto, enquanto o ar mais próximo do chão sofre uma depressão térmica, no sentido do convetor, arrastando as camadas mais frias. Assim, dá-se uma confortável substituição do ar frio por ar quente, usando a circulação de ar, um fator de conforto importante, sem gastar energia na tentativa de forçar a sua circulação. A situação encontra-se descrita figurativamente na Figura 18.

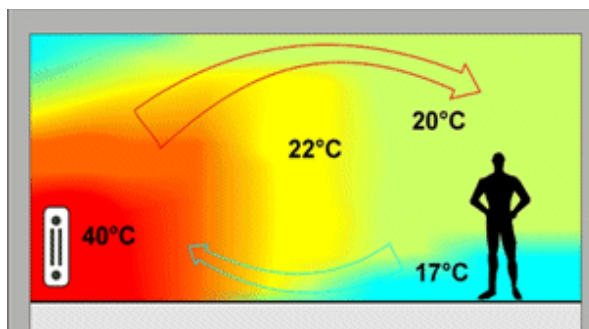


Figura 18 - Gradiente de temperaturas provocado por circulação do ar por convecção natural

O convetor que será analisado inicialmente, não serve apenas de interface de temperaturas, mas também de acumulador de massa térmica, ou capacidade calorífica volumétrica, por ser capaz de armazenar uma certa quantidade de fluido dentro do quarto prolongando o período de radiação após o instante em que a fonte térmica cessa a sua atuação. Em termos de transferência de calor, um alto valor de capacidade térmica volumétrica significa um maior tempo para o sistema atingir o equilíbrio. É uma variável que depende da densidade, da capacidade térmica, e do calor específico do material.

Será feito um estudo da adaptabilidade deste convetor relativamente aos convetores murais comuns, usados em casa.

6.3 A otimização do projeto de aquecimento de AQS e meio ambiente

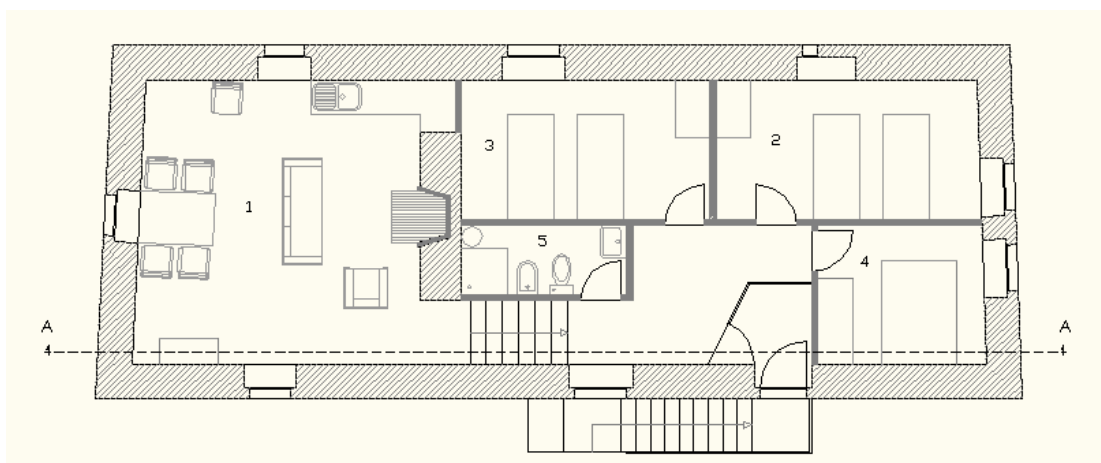


Figura 19 - Projeto de Autocad da moradia em análise, situada em Covelães

O sistema de aquecimento de água quente doméstica e de meio ambiente proposto apresenta alguns detalhes, que quando vistos mais aprofundadamente não se coadunam com a realidade das necessidades de projeto.

Acima, na Figura 19 apresenta-se novamente o projeto, formado por dois corpos retangulares alinhados na direção SE.NW, para facilitar a compreensão dos pontos que serão destacados em baixo.

Os três quartos que compõem o corpo maior da casa, juntamente com o quarto de banho, durante o período do ano de aquecimento, necessitam impreterivelmente de uma temperatura constante de conforto, com um tempo de resposta razoável, principalmente nas horas de maior movimentação da casa.

- O reservatório triangular proposto, que se aplicaria no espaço nº2, teria uma função de convetor de calor para o meio ambiente, que só iria conseguir cumprir o seu propósito a partir do momento em que a água estivesse toda uniformemente aquecida, e atingisse uma temperatura específica. Ou seja, para sequer começar a surgir um fluxo de calor através da superfície radiante, seria necessário aguardar um período de tempo superior 1 hora como apresentado na Figura 32, o que numa circunstância de aquecimento não planeado seria insustentável

- O aquecimento do quarto nº 3, é outra parte do problema sujeita a incógnitas. O projeto inicial, recorre ao fato deste ter uma das paredes, em comum com a parede onde está alojado o recuperador de calor da sala e sendo que, as perdas provenientes das superfícies laterais do recuperador de calor são suficientes para manter o quarto a uma temperatura constante, confortável de 20°C, pela irradiação de calor dessas perdas. gozando ainda da inércia térmica dessa parede. Ora, os recuperadores de calor atuais, procuram tirar o máximo partido do calor produzido pela chama, e por esse motivo, as zonas de transmissão de calor por convecção e radiação para o espaço de conforto, são a superfície frontal do recuperador, habitualmente em vidro, e a zona de saída de gases de combustão, que pode estar equipada com recuperador de calor e que conduz o calor para outras partes da casa. Desta forma, justifica-se que as superfícies laterais sejam aproximadas a adiabáticas.

- O aquecimento do quarto nº 4 será claramente insuficiente, uma vez que, apresenta duas superfícies comuns às fachadas exteriores, uma virada a nordeste e a outra a noroeste. A terceira orientada a sudeste, é favorável também a perdas pela envolvente interior devido ao fato de os espaços contíguos não estarem aquecidos. Não apresenta também nenhuma fonte de energia interna.

- Relativamente ao espaço nº5, o quarto de banho, é referido que, a colocação do cilindro para aquecimento de águas domésticas neste local, serviria para se conseguir uma temperatura de conforto razoável. Consultando alguns tipos de acumuladores de água fabricados pela marca Vulcano, observa-se que, são geralmente envolvidos numa massa de espuma rígida de poliuretano, material com alto poder de isolamento térmico (ex: para $\rho=30-60 \text{ kg/m}^3$ terá um coeficiente de condutibilidade térmica de $0,036 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$). Esta característica iria anular o possível poder calorífico do acumulador de água.

- Outro ponto final, e também relevante, que vem agregar as ideias anteriores, é que a potência calorífica produzida pela chama do recuperador, absorvido pelo permutador de calor e direcionado ao convetor do quarto 2, será da ordem dos 8 kW, o que para as necessidades do

quarto onde está colocado este convetor triangular será um valor exagerado se tomar em conta o valor de 80 W/m² referido para aquecimento do meio ambiente. Poderia eventualmente levar também a um sobreaquecimento do sistema e consequente danificação de componentes da instalação.

6.3.1 Análise do sistema de Aquecimento

A solução solar térmica apresentada caracteriza-se por construir um sistema com, produção e fornecimento de AQS e calor para aquecimento do meio ambiente, captando energia proveniente da radiação solar através de um campo único de coletores, e de um recuperador de calor que faz o aproveitamento da energia proveniente da biomassa.

Nos parágrafos seguintes faz-se, uma descrição sucinta dos princípios de funcionamento do sistema, com auxílio de um esquema elaborado em Autocad com princípio representativo, desta solução, e também um outro de carácter representativo da desenvoltura do sistema em termos de controlo.

Captação de energia Solar

Para se dar a coleta de energia solar, é necessário recorrer a uma ou várias baterias de coletores solares, instalados num espaço adequado para o efeito, ou seja, com uma boa e permanente exposição solar. Para se dar a transferência de energia solar dos coletores para o acumulador térmico, usa-se um fluido térmico solar, que deverá ter as características necessárias para manter o rendimento da instalação constante e resistir a condições adversas como, problemas de corrosão, as temperaturas mínimas que podem levar ao congelamento do fluido. Para tal, o fluido térmico deve possuir na sua composição uma certa proporção de inibidor de corrosão e outra de anticongelante (glicol).

Outros cuidados devem ser levados em conta como, as especificações técnicas de instalação do campo de coletores, inclusive as exigências de fixação de acordo com as condições de ventos e cargas de neve aplicáveis possibilitando não só o bom funcionamento da instalação mas também a segurança do sistema.

Existem dois circuitos hidráulicos distintos no sistema. O circuito hidráulico solar, e o circuito hidráulico do recuperador de calor:

Circuito hidráulico Solar

O circuito hidráulico solar, é o sistema que permite o transporte de energia solar térmica captada no painel ser transferida para o permutador de calor no depósito solar de acumulação de AQS. Para isso prevê-se a existência de acessórios hidráulicos como grupos de circulação e de controlo que permitem que o circuito esteja sujeito a uma gama de pressões, temperaturas, caudais bem definidos, quando este é solicitado em termos de AQS e aquecimento de meio ambiente.

Todo o sistema hidráulico solar está sujeito, a outras condições igualmente adversas, como elevadas temperaturas oscilantes que causam sobreexpansão do fluido [Figura 20], e alteração dos valores de caudais com consequente alteração do rendimento da instalação que devem ser cuidadas com acessórios como reguladores de caudal e o vaso de expansão que protegem a instalação das frequentes dilatações no aquecimento do fluido solar, o evita que as válvulas de segurança comutem frequentemente, o que levaria a intervenções para reparação frequentes.

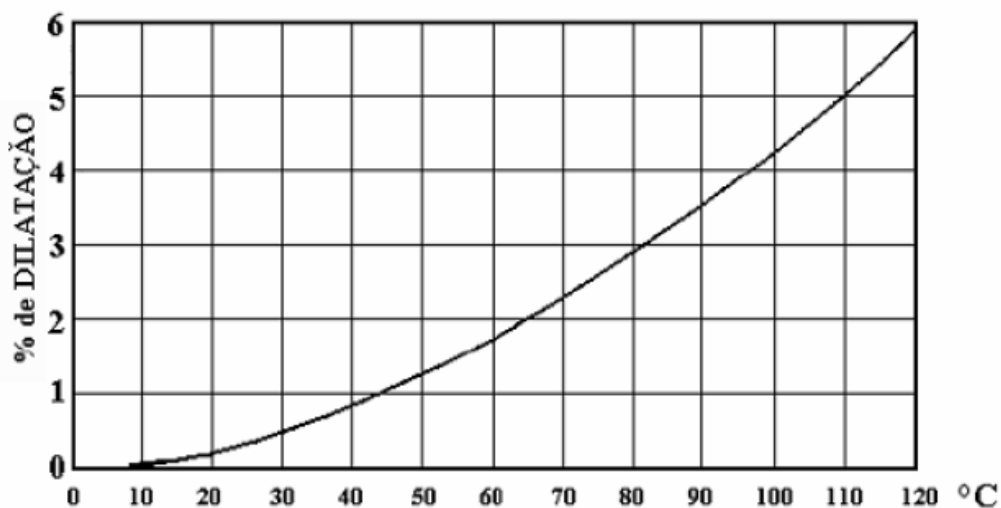


Figura 20- Dilatação do fluido térmico com a temperatura

[Fonte: Tabelas de dimensionamento solar]

A válvula de segurança, atua em último caso, se se ultrapassar os valores máximos de temperatura e pressão comportados pelo vaso de expansão. Ainda existe o purgador automático de ar, que permite o escoamento para o exterior de bolhas de ar que se possam formar no início no fornecimento de fluido térmico à instalação, em eventuais perdas de fluido térmico por mau isolamento, ou devido a fenómenos de cavitação.

O grupo de circulação e controlo é também responsável, por fazer circular o fluido solar de forma a superar as perdas de carga decorrentes da resistência à circulação do fluido, usando por isso um caudal que garanta a otimização da passagem de energia captada para a água de consumo.

As dimensões da tubagem (traçados e diâmetros) e o respetivo isolamento térmico, são também variáveis a ter em conta, relevantes em termos de eficiência de energia usada para a produção de energia de AQS e meio ambiente, e em termos de perdas térmicas respetivamente.

Previu-se também em projeto, períodos de baixo ou nulo consumo de AQS e necessidades de aquecimento de meio ambiente, através da instalação de um circuito de dissipação da energia solar captada em excesso.

A situação em que, se poderá dar o desvio do fluido térmico solar para o circuito dissipação de energia e quente entrada no circuito de fluido frio decorre de, o campo de coletores atingir uma temperatura máxima definida. Evitam-se situações de sobreaquecimento, altas pressões e

separação de água e glicol prejudiciais à instalação. Evita-se consequentemente, intervenções de reparação com evidentes custos associados.

Circuito Hidráulico do Recuperador de Calor

O circuito hidráulico do recuperador de calor, vai permitir a transferência do calor da combustão da lenha, transmitido à serpentina, até ao acumulador de água quente sanitária. Ou em alternativa, ao atingir uma temperatura determinada no acumulador correspondente às necessidades, ocorre a comutação das válvulas V1 e V2 que fazem o transporte do fluido térmico para os convetores localizados nos 4 quartos dando-se a dissipação para o meio ambiente.

Na entrada de fluido de cada um dos convetores, existe uma válvula termostatizável. Esta válvula estabelece a ligação entre a tubagem de distribuição e o convetor, e permite fazer um controlo local da temperatura em cada divisão aquecida à medida da necessidade do utilizador. Esta válvula, composta por cabeça termostática e uma válvula termostatizável, permite ao utilizador indicar uma temperatura desejada pelo primeiro componente, atuando sobre o segundo componente que regula para uma certa quantidade de caudal.

Todo o circuito hidráulico é abrangido por alguns elementos de segurança e controlo tal e qual como no caso do circuito solar. Elementos como o dissipador de calor, vaso de expansão, válvula de segurança, purgador automático de ar, e bomba circuladora constituem o sistema de circulação do circuito. O sistema de controlo, tem presença também, no controlo de caudais através da bomba circuladora, e no controlo de temperaturas ativando o circuito de dissipação.

Acumulação de energia em depósito acumulador do sistema solar e do recuperador de calor

Num edifício de habitação, é normal que os períodos de consumo de AQS e aquecimento do meio ambiente, estejam desfasados dos períodos de maior incidência solar, e neste caso também dos períodos de alimentação do recuperador de calor. Por isso, é natural que se associe às fontes de calor, uma massa de inércia térmica, que permita obter um máximo aproveitamento do campo de coletores, acumulando assim a água recebida da rede, aquecendo-a quando possível, “armazenando-a” no acumulador, e consumindo-a nos períodos de necessidade.

A utilização de depósitos, acumuladores de água e calor, efetua-se fornecendo-se água fria da rede de distribuição pública que é, posteriormente aquecida por duas serpentinas no seu interior de duas fontes de energia distintas. No interior destas duas serpentinas circula fluido térmico, de dois circuitos fechados diferentes, com uma composição apropriada, ou ao circuito solar, ou ao circuito do recuperador de calor, tendo assim, água conjuntamente com mais ou menos glicol, ou mais ou menos inibidor de corrosão dependendo das temperaturas a que o circuito está sujeito.

Desta forma, garante-se o fornecimento simultâneo de água quente em vários pontos de tiragem (torneiras), e da transferência de calor para os espaços de habitação.

Para o abastecimento de águas quentes sanitárias, faz-se a extração da água quente pela parte superior do depósito, que se une noutro ponto da instalação à água fria da rede através de uma válvula de 3 vias de mistura termostática, permitindo obter temperaturas adequadas às desejadas pelo utilizador.

Em termos de segurança, o depósito de dupla serpentina usa uma válvula de segurança e um vaso de expansão pelas mesmas razões apresentadas para o coletor solar. Outra particularidade, que não consta em projeto por não ser relevante, mas é interessante referir, é a capacidade de realizar tratamentos térmicos para proteção contra a bactéria *Legionella pneumophila*. Esta é uma bactéria que encontra condições propícias ao seu aparecimento numa gama de temperaturas entre 25 e 45 °C, em zonas de mortas, ou seja, de águas paradas onde exista a presença de depósitos sólidos. Previne-se esta bactéria através de alguns procedimentos, como elevar a temperatura da água acima de 70°C regularmente, o que elimina a bactéria, ou através uma distorção da serpentina que passa no fundo do depósito arredondado (não representado na figura), permitindo a circulação de águas paradas devido à variação de volume da água provocada pela subida de temperatura.

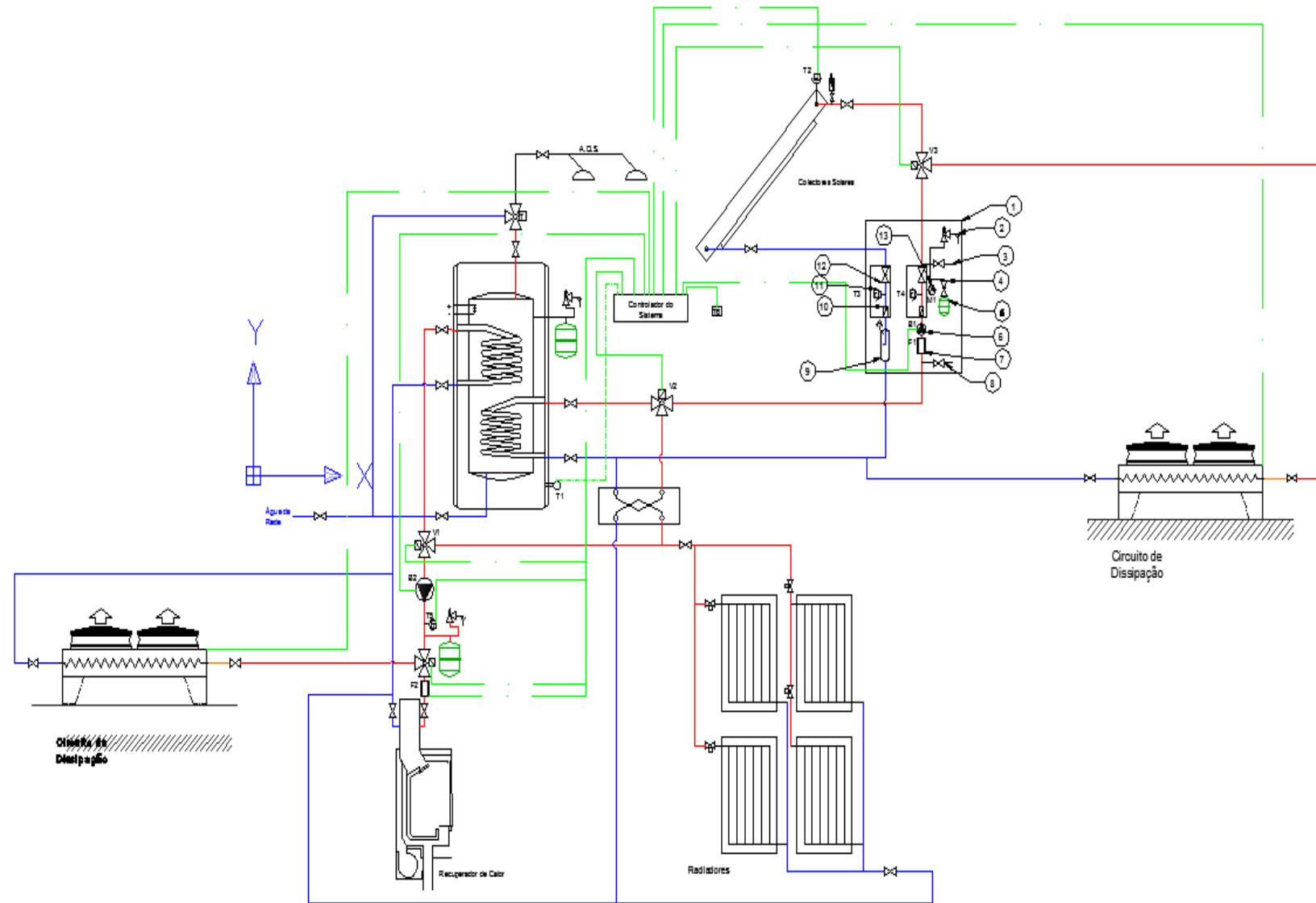


Figura 21 - Esquema figurativo em Autocad do sistema de aquecimento

6.3.2 Análise do Sistema de Controlo

Um sistema de controlo de um sistema de aquecimento como o em análise representado na Figura 21, poderia ser descrito através de uma linguagem algo complexa para o objetivo deste projeto. Por isso, para se expor de uma forma simplificada, a caracterização das várias condições que regem o sistema de controlo, escolheu-se uso de Diagramas de Estado, que transmitem a forma de uma certa condição, de uma maneira simples e intuitiva.

Os diagramas de estado, são circuitos de caracterização de sistemas sequenciais em que os valores lógicos produzidos nas saídas são função da sequência de valores aplicados às entradas, ou seja, dos valores aplicados às entradas num dado instante bem como dos valores aplicados nos instantes anteriores. Tem assim associado o conceito de “estado”, que denota e resume a “história” de um sistema.

Nos sistemas sequenciais, importa considerar:

- Variáveis de entrada (I_1, I_2, \dots)
- Variáveis de saída (O_1, O_2, \dots)
- Variáveis internas (ou variáveis de estado) que denotam o estado do sistema

Para começar, serão resumidas na tabela seguinte, as variáveis de entrada e de saída de todo o sistema de aquecimento em análise:

Tabela 8 - Variáveis de entrada e de saída do Sistema de Controlo

Variáveis de Entrada		Variáveis de Saída	
T_1	Temperatura do depósito	B_1	Bomba de circulação do circuito hidráulico Solar
T_2	Temperatura do fluido à saída do Coletor Solar	B_2	Bomba de circulação do circuito hidráulico do recuperador de calor
T_3	Temperatura do fluido de retorno	V_1	Válvula direcional do depósito para os convetores
T_4	Temperatura do fluido de Avanço	V_2	Válvula direcional do depósito para o permutador de calor
T_5	Temperatura é saída do Recuperador de Calor	V_3	Válvula direcional do depósito para o sistema de dissipação
T_6	Temperatura dos quartos	V_4	Válvula direcional do depósito para o sistema de dissipação
F_1	Fluxómetro do caudal do circuito Hidráulico Solar	R	Resistência elétrica
F_2	Fluxómetro do caudal do circuito hidráulico do Recuperador de Calor	D_1	Sistema de dissipação do circuito hidráulico Solar
M_1	Manómetro do Circuito Hidráulico Solar	D_2	Sistema de Dissipação do circuito hidráulico do recuperador
H	Horas		

Os parágrafos seguintes, irão descrever os vários processos que permitirão controlar o sistema:

Controlo de caudal mássico no circuito hidráulico do sistema solar

As flutuações de temperatura do fluido do circuito hidráulico do sistema solar podem andar entre os $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e os $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Desta forma, são provocadas alterações na densidade do fluido térmico que, conseqüentemente, alterarão o caudal mássico medido. O diagrama de estados apresentado a seguir descreve precisamente o controlo da variável caudal, para um valor nominal predefinido denominado por M.

De seguida apresenta-se na Tabela 9 as variáveis de saída, as de entrada, e os estados correspondentes:

Tabela 9 - Variáveis de entrada e saída do sistema de controlo de caudal mássico

Entradas		Saídas	
I_1	Fluxómetro $F_1=N$	O_1	Bomba B_1
I_2	Fluxómetro $F_1>M$ ou $F_1<M$ ou $F_1\neq 0$		

Variáveis de estado:

X_0 - Bomba desligada.

X_1 - Bomba ligada com caudal nominal indicado.

X_2 - Bomba ajusta valor do caudal, numa medida igual é alteração do fluxómetro.

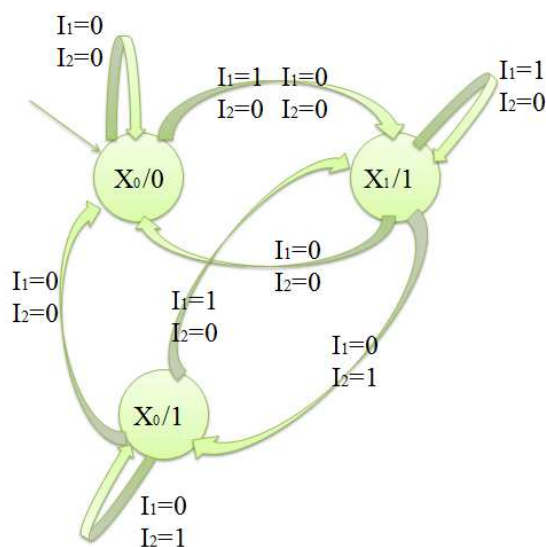


Figura 22 - Diagrama de estados do sistema de controlo de caudal mássico

Esta condição impõe que, quando é detetado um certo fluxo no circuito por ativação do sistema, se dê a transição para o estado 1 - “bomba ligada” permanecendo dessa forma inalterado, a menos que se dê uma oscilação no valor do caudal nominal.

Dessa forma, transita para o estado 2 - “Bomba ajusta valor do caudal” até ajustar novamente o seu valor e voltar ao estado 1.

É de notar, que o circuito hidráulico do sistema do recuperador de calor também terá um sistema de controlo de caudal mássico igual. Como representado em projeto, usará o fluxómetro F_2 , que irá controlar a bomba de circulação B_1 . Aqui é omitido o seu esquema, mas tem igual relevância.

Controlo de Temperatura no circuito Hidráulico Solar

Os períodos de consumo de energia de AQS, e de meio ambiente, numa habitação familiar podem ser muito variáveis dependendo dos hábitos dos residentes. Assim é provável que haja períodos não coincidentes com os períodos de maior radiação solar. Nestas alturas corre-se o risco de o circuito sofrer de sobreaquecimento por excesso de radiação solar incidente não transferida para o acumulador, devido à subida de temperaturas ou sobrepressão pela subida de temperaturas, o que é de todo desejável que se evite. Nestes casos é ativado dissipador de calor ao se ultrapassar uma temperatura denominada Y.

De seguida apresenta-se na Tabela 10 as variáveis de saída, as de entrada, e os estados correspondentes:

Tabela 10 - Variáveis de entrada e saída do sistema de controlo de temperatura

Entradas			Saídas
I_1	Termómetro e sensor $T_2 \leq Y$	O_1	Bomba de circulação B_1
			Circuito de dissipação C_1
			Válvula V_3

Variáveis de Estado:

X_0 – Circuito de Dissipação desligado

X_1 - Circuito de Dissipação Ligado (Adaptação do caudal mássico debitado pela bomba, ao caudal necessário para a dissipação de calor, ativação do elemento dissipador e comutação da válvula)

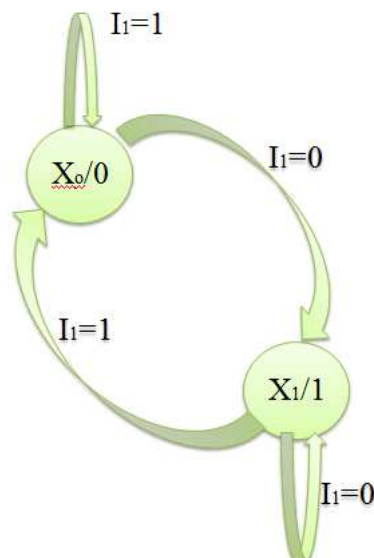


Figura 23 - Diagrama de estados do sistema de controlo de temperaturas

Esta condição impõe que, o circuito de dissipação seja ativado transitando para o estado 1 sempre que se detete uma temperatura à saída dos coletores superior a Y. Se se der a negação

da entrada 1 então a temperatura será novamente igual ou menor que Y , regressando ao estado 0.

É importante também fazer notar que, o aplica-se igualmente um sistema de controlo ao circuito de dissipação do recuperador de calor, tendo por sua vez, variáveis de saída como T_5 , e variáveis de entrada como B_2 , C_2 e V_4 . Aqui é omitido o seu esquema, mas revela-se igualmente importante.

Sistema auxiliar de aquecimento - controlo da resistência elétrica no acumulador

Tornando-se este sistema autónomo, isto é, a possibilidade de poder dispensar qualquer intervenção humana no funcionamento do sistema, proporcionando todo o bem estar necessário aos seus utilizadores, torna-se necessário recorrer a um outro tipo de dependência energética, a energia elétrica, que pode ser proveniente da rede elétrica nacional ou simplesmente produzida por um gerador a gásóleo ou até por alguma outra fonte de energia renovável armazenada em baterias.

Para poder responder à possibilidade de a água quente sanitária não estar aquecida no momento desejado, formulou-se a seguinte solução: supondo que as horas de consumo de água quente são mais ou menos regulares ao longo do dia, ao se atingir uma hora do dia (H) que somada com o período necessário para aquecer a água (Z) até à temperatura de conforto (denominada W), iguala a hora de consumo de AQS (B), o sistema auxiliar é ativado até atingir a temperatura necessária.

De seguida apresenta-se na Tabela 11 as variáveis de saída, as de entrada, e os estados correspondentes:

Tabela 11 - Variáveis de entrada e saída do sistema de controlo de energia auxiliar.

Entrada			Saída	
I_1	Temperatura $T_2 < W$	O_1	Resistência	
I_1	$H+Z=B$			

Variáveis de Estado:

X_0 – Resistência Desligada

X_1 – Resistência Ligada

A transição de estados, dá-se ao conciliar as duas situações de entrada, a temperatura menor que a desejada de conforto, e ter-se atingido a hora limite para não haver alteração dos horários do utilizador.

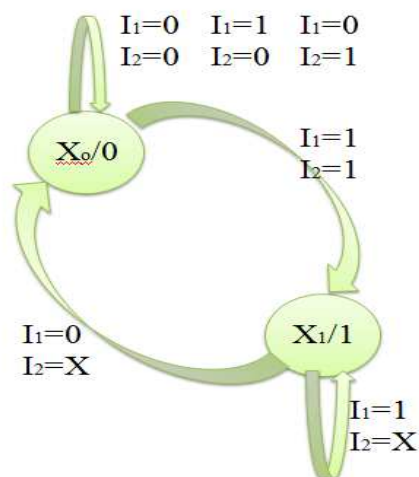


Figura 24 - Diagrama de estados do sistema de controlo de energia auxiliar

Uma ideia a acrescentar seria, para um bom ajustamento ao utilizador, ser possível redefinir no sistema de controlo quais as horas de consumo, e também monitorizar a quantidade de vezes e a hora que a resistência é ativada.

Controlo da prioridade do Aquecimento de AQS

Comparando a exigência da utilização das águas quentes sanitárias, nos banhos, lavatórios, cozinha, outras situações com a exigência do aquecimento do meio ambiente, há uma forte prioridade no aquecimento das AQS.

Desta forma, a energia gerada pelo recuperador de calor, e pelo grupo de coletores solares, será sempre em primeiro lugar dirigida ao acumulador, e só depois, aos convetores de calor situados nos quartos.

De seguida apresenta-se na Tabela 12 as variáveis de saída, as de entrada, e os estados correspondentes:

Tabela 12 - Variáveis de entrada e saída do sistema de controlo da prioridade do aquecimento

Entradas			Saídas
I_1	$T_1 \geq W$	O_1	Válvulas V_1 e V_2
I_2	Acionamento manual		

Variáveis de Estado:

X_0 - Válvulas direcionais orientadas para circuito AQS

X_1 - Válvulas direcionais orientadas para circuito aq. meio ambiente

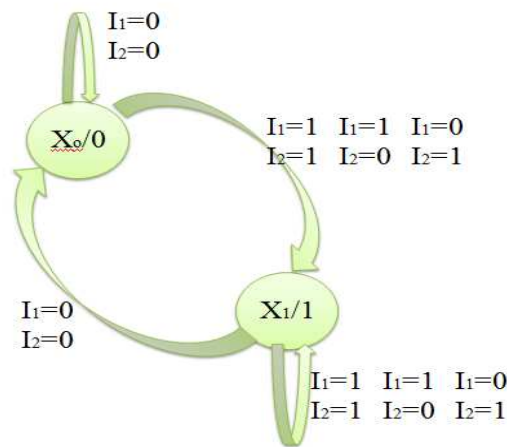


Figura 25 - Diagrama de estados do sistema de controlo da prioridade de aquecimento

Sempre que a temperatura necessária para aquecimento das águas sanitárias é atingida (W) então, dá-se a comutação das válvulas direcionais. Ao se utilizar as AQS, a temperatura medida em T_1 irá baixar, levando à comutação de novo, das válvulas, para responder à rápida e pronta preparação de águas quentes sanitárias. Se houver uma necessidade de aquecimento de meio ambiente fora do normal, será sempre possível fazer a comutação das válvulas manualmente.

7. Modelo Matemático

O desenvolvimento do modelo matemático vem na sequência da definição da problemática apresentado no capítulo 6 que será baseado, em alguns pontos na escolha de elementos de referência como o recuperador de calor, ou os convetores murais, elementos esses que estão especificados no Anexo A.

7.1 Necessidades energéticas

Segundo a definição das necessidades energéticas feita acima de acordo com RCCTE, será agora definido o procedimento tomado para obter os resultados relativos às necessidades energéticas e os limites superiores para o aquecimento do meio ambiente e para o aquecimento da água quente sanitária.

a. Necessidades energéticas de aquecimento do meio ambiente

Foi referido acima, que por uma questão prática não seriam abordadas questões técnicas relativas ao cálculo da real necessidade de aquecimento, uma vez que, tal passaria por considerações ligadas às características construtivas da casa, tema que não se pretende abordar. Como tal, foi definido um valor já referido de 80 W/m².

Depois de definido o projeto em Autocad, procedeu-se à medição das áreas cobertas de cada espaço. Para cada espaço da casa i com uma área A obteve-se uma necessidade de potência calorífica \dot{Q}_i :

(Eq. 6)

$$\dot{Q}_i = A_i * 80$$

Sabendo que, o período de aquecimento em Montalegre tem a duração de 7,7 meses do ano, o que corresponde a 234 dias ao longo das 24 horas, pode-se calcular a energia de aquecimento anual:

(Eq. 7)

$$E_i = \dot{Q}_i * 234 * 24$$

b. Limites superiores das necessidades energéticas de aquecimento do meio ambiente

Como forma de impor um limite às necessidades térmicas que um edifício pode ter, foram criados “os coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis”, U_i , referidos no capítulo anterior. Estes limites relacionam-se diretamente com a área, com os coeficientes, das paredes laterais do espaço, com os da cobertura, com os das janelas (que aqui terão um valor de referência de 12% da parede interior onde se encontra). O piso térreo não tem relevância. Relacionam-se ainda com os valores mínimos médios da temperatura para os meses do período de arrefecimento e com a temperatura de conforto (20 °C):

(Eq. 8)

$$Q_i = A_i * U_i * (T_{conforto} - T_{min,média,mensal})$$

c. Necessidades energéticas de aquecimento de águas quentes sanitárias

O RCCTE expõe um método de cálculo das **necessidades de energia para a preparação de água quente sanitária**, consoante o tipo de habitação em questão (Nac).

(Eq. 2)

$$Nac = (Qa/\eta - Esolar - Erenov)/Ap$$

Em que,

Q_a – Indica a energia útil despendida com sistemas convencionais de preparação de AQS.

η – é a eficiência de preparação desses sistemas de preparação de AQS, que é definida pelo respetivo fabricante com base em ensaios normalizados.

E_{solar} – é a contribuição de sistemas de coletores solares para o aquecimento de AQS, caso exista esta instalação, que pode ser medida através do programa SOLTERM.

$E_{renováveis}$ – é a contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis que neste caso concreto, a energia de biomassa.

A energia útil (Q_a) despendida com sistemas convencionais de preparação de AQS (Q_a) pode ser calculada através de um cálculo simples de balanço de calor:

(Eq. 3)

$$Q_a = (Maqs. 4187. \Delta T. nd) / 3600000$$

Em que a variável ΔT assume o valor de referência de 47,5°C partindo do pressuposto que a água da rede pública de abastecimento é disponibilizada a uma temperatura média de 12,5°C e que deve ser aquecida até uma temperatura de 60°C. As variáveis $Maqs$ (consumo médio diário de referência) e nd (numero anual de dias de consumo) são abordadas no ponto que se segue.

d. Limites superiores das necessidades energéticas de aquecimento de águas quentes sanitárias

Para valores limite das necessidades nominais de energia útil para preparação de águas quentes sanitárias o limite máximo para os valores das necessidades de energia para a preparação das águas quentes sanitárias (Na) é definido na equação seguinte:

(Eq. 1)

$$Na = 0,081. Maqs. nd / Ap \quad (\text{Kwh/m}^2.\text{ano})$$

$Maqs$ – é o consumo médio diário de referência de água quente sanitária. Depende do número de ocupantes da casa, sendo o número convencional de ocupantes de cada fração autónoma definido como, para um T0 – 2 ocupantes, para um T1 – 2 ocupantes, para um T2 – 3 ocupantes, convergindo na regra, para um Tn – n+1 ocupantes. Usando as condições interiores de referência:

(Eq. 9)

$$Maqs = 40 \text{ litros} * \text{numero de ocupantes}$$

Nd – representa o número anual de dias de consumo de AQS. Depende do período convencional de utilização dos edifícios, em que para o caso em questão, edifícios Residenciais, refere-se ao ano completo que totaliza 365 dias.

Ap – é a área útil de pavimento.

7.2 Avaliação da viabilidade do uso de um convetor com grande massa de inércia térmica

7.2.1 Potência radiante

Para se poder avaliar se o convetor usado, seria uma solução útil em termos de conforto térmico do quarto, procedeu-se à avaliação da capacidade do convetor de o aquecer, para uma

temperatura média de conforto ($T_{conforto}$) de 20 °C. A água acumulada no convetor, a uma certa temperatura de saída do recuperador ($T_{saída,recuperador}$), iria provocar um fluxo de calor constante dependendo do caudal que estivesse em circulação no circuito.

Tomando em conta que, só uma superfície do convetor triangular irradia calor, fez-se uma aproximação a uma placa plana vertical de altura L , isotérmica à temperatura de placa (T_p), rodeada de ar calmo no lado exterior do convetor, à temperatura ($T_{conforto} = T_\infty$) que irradia calor por convecção natural como ilustrado na Figura 26.

A temperatura da placa aumenta em resultado da transferência de calor, com as partículas da camada de ar adjacente, cuja temperatura aumenta até ao valor T_p . Estas partículas trocam calor com as da camada de ar próximas, e estas com as da camada de ar seguinte e por aí em diante, com correspondentes aumentos, em menor escala, da temperatura de cada uma das partículas, até uma distância δ_{T_x} , onde a temperatura das partículas de ar é igual a T_∞ .

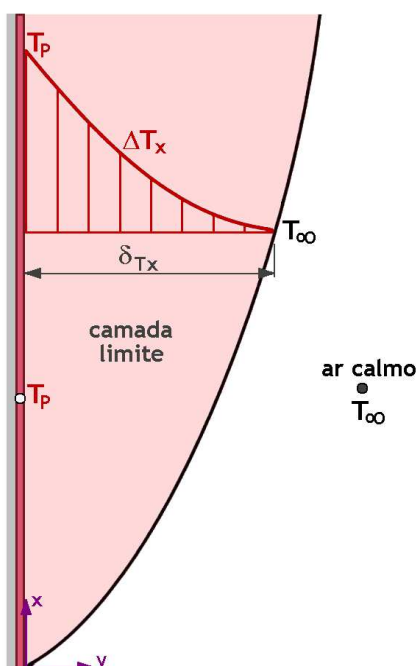


Figura 26- Perfil de temperaturas típico para o caso de placa arrefecida.

[Fonte: (10)]

Para se fazer uma análise da potência transferida para a sala, procede-se ao balanço térmico da placa plana vertical, através de uma analogia reo-elétrica. Há que contabilizar os três modos de transferência de calor: convecção no interior, condução através da placa de alumínio, e convecção e radiação para o exterior. Após o cálculo dos coeficientes de convecção e radiação, calcula-se as resistências térmicas a que a placa está sujeita. Na Figura 27 apresenta-se em termos figurativos os modos de transferência de calor, em que a parte verde simboliza água no interior do convetor, a parte castanha, a parede de alumínio do convetor, com um fluxo de calor \dot{Q} dirigido à massa de ar e às paredes e objetos contidos no espaço da sala.

Figura 27 - Representação figurativa do convetor em

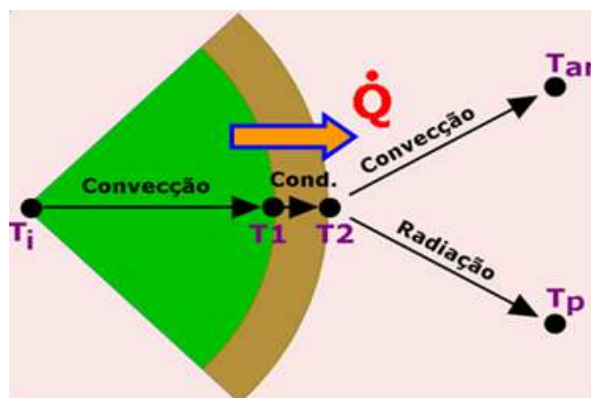


Figura 27 - Representação figurativa do convetor em corte e dos processos de transferência de calor que ocorrem.

A potência térmica transmitida pela água a 65°C, por convecção vai ser igual a potência térmica transmitida por condução, que será igual à soma potência térmica transmitida por radiação e convecção:

(Eq. 10)

$$\dot{Q}_{convecção} = \dot{Q}_{condução} = \dot{Q}_{convecção} + \dot{Q}_{radiação}$$

O balanço térmico será feito através de:

(Eq. 11)

$$\dot{Q}_{cv+rad} = \frac{\Delta T}{R_{equivalente}}$$

Em que a resistência equivalente, respeitando os princípios da analogia reo-elétrica, será igual ao inverso da soma dos inversos da resistência à radiação e à convecção exterior, com a resistência à condução da parede mais a resistência de convecção interior:

(Eq. 12)

$$R_{equivalente} = R_{cv,i} + R_{cd,p} + \frac{1}{\left(\frac{1}{R_{rd,e}} + \frac{1}{R_{cv,e}}\right)}$$

a. *Resistência térmica convectiva interior e exterior*

O cálculo da resistência convectiva interior e exterior faz-se da seguinte maneira:

(Eq. 13)

$$R_{cv,i} = R_{cv,e} = \frac{1}{\bar{\alpha} * A}$$

Para se proceder ao correto cálculo, é necessário fazer previamente o cálculo do coeficiente de convecção que vai estar associado tipo de escoamento (se laminar ou turbulento) e à sua geometria através da combinação de variáveis que originam o número adimensional de Nusselt.

(Eq. 14)

$$\overline{Nu} = \frac{\bar{\alpha} * L_c}{\lambda}$$

O número de Nusselt vem exprimir a força que a convecção tem, sobre uma transferência de calor. Quanto maior, maior a transferência de calor. Se manipulado matematicamente em ordem ao coeficiente de convecção resulta em:

(Eq. 15)

$$\bar{\alpha} = \frac{\overline{Nu} * \lambda}{L_c}$$

O coeficiente de convecção, neste caso será calculado segundo um escoamento de convecção natural, uma vez que, não existe qualquer tipo de energia externa a acelerar o escoamento. Pode vir a ser necessário recalculá-lo caso se torne convecção forçada, para o interior do convetor.

Para a avaliação do tipo de escoamento é necessário, proceder ao cálculo do número de Rayleigh. Se este for superior ou igual a 10^9 está-se perante um escoamento turbulento, se inferior estamos perante um escoamento laminar.

(Eq. 16)

$$Ra = Gr * Pr = \frac{g * \beta * \Delta T * L_c^3}{\nu^2} * Pr$$

Os parâmetros presentes no número de Rayleigh são, característicos de uma dada temperatura do ar ou da água (T_{filme}). Estes parâmetros são β - coeficiente de expansão volumétrico, Pr - número de Prandtl relativo à eficiência da transferência de calor, ν - viscosidade cinemática e L_c referente ao comprimento característico que neste caso será a altura do depósito convetor.

(Eq. 17)

$$T_{filme} = \frac{T_p + T_\infty}{2}$$

Sabendo isto, já é possível escolher as fórmulas empíricas que permitem fazer o cálculo do número de Nusselt. Em (10) encontram-se para o regime turbulento, regime resultante tanto para o ar como para água:

(Eq. 18)

$$\overline{Nu} = 0,0211 * (Ra_L)^{(2/5)}$$

Sabendo assim, os valores de Nusselt médios, tanto para o interior como para o exterior, pode-se calcular os valores médios do coeficiente de convecção, e consequentemente, as resistências equivalentes.

b. Resistência térmica radiativa exterior

Também aqui se pode definir, por analogia uma R_t para a radiação, a partir de uma equação de balanço entre duas superfícies às temperaturas T_p e T_∞ .

(Eq. 19)

$$\dot{Q}_{p-\infty} = \varepsilon_p * \sigma * A * (T_p^4 - T_\infty^4)$$

Repartindo o binómio:

(Eq. 20)

$$\alpha_{rd} = \varepsilon_p * \sigma * (T_p^2 + T_\infty^2) * (T_p + T_\infty)$$

Esta definição, não é de fácil generalização, uma vez que a resistência radiativa é função da temperatura da parede e da temperatura ambiente, o que choca com a definição de balanço térmico inicial.

Outra forma de colocar a questão, é abordando diretamente o valor da resistência radiativa através, da resistência inerente às superfícies não serem um corpo negro:

(Eq. 21)

$$R_t = \frac{1 - \varepsilon_p}{A * \varepsilon_p}$$

É um valor dependente da emissividade, da placa plana e da sua área.

E, a resistência devida à geometria (influencia do fator de forma):

(Eq. 22)

$$R_t = \frac{1}{A * F_{1-2}}$$

O fator de forma assume aqui um valor aproximado. Será feita uma aproximação a 1, o que se resume a aproximar a forma defronte do convetor em esquina, a uma forma arredondada, em que todos os pontos das paredes do espaço que fazem face a superfície do convetor, estão equidistantes deste.

7.2.2 Tempo necessário para a massa de água do convetor atingir a temperatura ambiente

A análise da difusibilidade térmica, nos sólidos é um parâmetro muito útil. No estudo dos fenómenos instacionários, permite obter uma medida da velocidade de propagação do calor. Sabendo o valor da velocidade torna-se acessível o conhecimento do tempo necessário para se dar o arrefecimento até 20 °C.

Existem dois pontos muito relevantes na análise da velocidade de propagação. A homogeneidade ou heterogeneidade da resistência interna do corpo à condução de calor, e a resistência externa à transferência de calor por convecção.

Para isso, existe um número adimensional que faz essa análise, o Número de Biot:

(Eq. 23)

$$Bi = \frac{\alpha * L_c}{\lambda}$$

Se o número de Biot for muito menor que 0,1, significa que a condutividade do material é muito alta, e portanto o calor propaga-se de forma homogênea. Neste caso usa-se o chamado Método do Sistema Global.

Se o número de Biot for maior do que 0,1, nesse caso a distância entre a fonte de calor no interior da peça e a superfície, terá uma importância vital dado, que a propagação será feita ao longo do sólido ou fluido a tempos diferentes. Neste caso, aplica-se o uso das Cartas de Heisler.

Sendo o nosso objeto de análise água, teremos certamente homogeneidade, e portanto uma propagação de calor não dependente da variação espacial.

Aplicação do Método do Sistema Global

A análise através deste método, conduz a uma equação diferencial ordinária.

(Eq. 24)

$$\frac{\theta}{\theta_i} = \frac{(T(t) - T_{\infty})}{(T_i - T_{\infty})} = e^{-Bi * Fo}$$

Esta expressão, aplica no denominador o diferencial de temperaturas, entre a ambiente e a temperatura no instante pretendido e no numerador, o diferencial de temperaturas entre o ponto desejado (a superfície da parede) e a ambiente.

A variável Fo , exprime o número adimensional de Fourier, que exprime o tempo adimensional de um processo instacionário de transferência de calor:

(Eq. 25)

$$Fo = \frac{a * t}{L_c^2}$$

A difusibilidade térmica por ser calculada a partir da seguinte expressão:

(Eq. 26)

$$a = \frac{\lambda}{\rho * c_p}$$

7.2.3 Cálculo do caudal necessário para manter uma temperatura de aquecimento de 65 °C no interior do depósito/convetor.

- Depósito/Convetor

Para se poder definir o caudal necessário para circular no circuito hidráulico do recuperador de calor, recorreu-se à “modelação global de componentes de sistemas térmicos em regimes dinâmicos” como lecionado nas aulas de Métodos Computacionais de Energia Térmica.

O aquecimento de uma massa de água vai convergir para uma certa temperatura de saída, e este modelo vai permitir, simulando no programa Equations Engineering Solver (EES), determinar ao fim quanto tempo e para que temperatura, converge.

O programa EES permite dar solução a sistemas de equações não-lineares. Fornece uma larga variedade de funções e equações especializadas em termodinâmica e transferências de calor.

Tem portanto um papel fundamental na área de energia térmica em Engenharia Mecânica.

Para se fazer o balanço de energia que entra e que sai do convetor, ao longo do tempo, utilizou-se a seguinte equação:

(Eq. 27)

$$\rho * V * \frac{dT}{dt} = \dot{m} * c_p * (T_e - T_s) - \varepsilon * \dot{m} * c_p * (T_m - T_{sala}) + 8820$$

A primeira parcela, representa a variação da energia térmica em função da variação da temperatura da massa de água ao longo do tempo. A segunda parcela, representa a variação de energia dependendo da diferença entre a temperatura de entrada e a de temperatura de saída, do caudal mássico e do calor específico. A terceira parcela, representa a variação de energia que se dá entre o interior do depósito e a sala, que é afetada diretamente pelo elemento ε . A quarta parcela representa, a potência calorífica gerada pelo recuperador de calor na grelha que faz a recuperação de calor perdido pela chaminé num modelo selecionado, da marca EdilKamin.

O elemento ε representa um coeficiente de eficiência de transferência de calor, que está relacionado com os coeficientes de convecção, condução, e radiação, através do coeficiente de transferência global K .

(Eq. 28)

$$\varepsilon = 1 - \exp\left(-\frac{KA}{(\dot{m}c_p)_{\min}}\right)$$

Simplificando a equação [28] teremos:

(Eq. 29)

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\dot{m}}{\rho V} ((T_e - T_s) - \varepsilon * (T_m - T_{sala})) + \frac{8,82}{c_p}$$

Para um cálculo mais preciso, será usado no programa do lado direito da equação na segunda parcela, em vez de T_e , uma média das temperaturas de entrada e de saída, $\frac{T_e + T_s}{2}$.

- Recuperador de calor

Uma vez que, o recuperador de calor tem um circuito hidráulico comum ao circuito usado para os convetores e que, os períodos de necessidade de aquecimento são comuns aos períodos em que se pode abastecer o recuperador de calor com lenha, períodos esses que são mais predominantes ao fim do dia, quando se dá o arrefecimento do meio ambiente exterior, usa-se apenas para efeitos de cálculos a potência calorífica do recuperador de calor (8820 W).

Assim, é possível ajustar um caudal mássico para o circuito, usando o seguinte balanço de calor para a grelha do recuperador de calor:

(Eq. 30)

$$\dot{Q} = \dot{m} * c_p * (T_s - T_e)$$

Manipulando a equação em ordem a T_e , temperatura correspondente à temperatura de entrada do recuperador de calor, é possível, através da equação [29] e [30] ajustar a um caudal que iguale a temperatura de saída do convetor e a temperatura de entrada do recuperador.

7.3 O uso de convetores murais como alternativa ao depósito/convetor

Em alternativa ao convetor/depósito, existe uma outra solução mais vantajosa. Vantajosa pelos motivos apresentados anteriormente no capítulo 6.3 e vantajosa pelo balanço energético do conjunto recuperador-convetor que será apresentado no capítulo seguinte.

A aplicação de um convetor simples em cada um dos quartos, com uma carga de inércia térmica quase nula, irá permitir um caudal mássico muito mais baixo, e portanto, a energia aplicada na bomba circuladora é muito menor, para além de que se faz um aproveitamento muito mais eficaz da carga térmica gerada pelo recuperador de calor sendo distribuída pelos vários espaços da casa.

Fazendo um balanço energético entre o recuperador, a bomba circuladora, e os convetores:

(Eq. 31)

$$\dot{Q}_{\text{recuperador (1)}} + P_{\text{bomba circuladora}} = \dot{Q}_{\text{radiadores(2)}}$$

Em que $\dot{Q}_{\text{recuperador (1)}}$, se escolheu como solução para o convetor mural, um convetor da Vulcano com uma capacidade radiativa de 220 W, para um ΔT de 45 °C.

A modelação em EES, vai permitir descrever a que gama de temperaturas corresponde uma certa gama de caudais mássicos.

Assim, para uma potência calorífica do recuperador de calor de 8,82 kW, com uma temperatura de saída de 65°C:

(Eq. 32)

$$\dot{Q}_1 = \dot{m} * c_p * (T_s - T_e)$$

Para uma potência radiativa de 220W no convetor para um caudal $\frac{\dot{m}}{n}$, em que n representa o numero de convetores distribuídos pela casa, com uma temperatura de sala de 20 °C, e uma temperatura média no interior do convetor $\frac{T_e + T_s}{2}$.

(Eq. 33)

$$Q_2 = \left(1 - \exp \left(- \frac{KA}{\frac{\dot{m}}{n} * c_p} \right) \right) * \frac{\dot{m}}{n} * c_p * \left(\frac{T_e + T_s}{2} - T_{sala} \right)$$

O primeiro termo da equação, já referido na equação [28], é neste caso relativo à eficiência da transferência de calor no convetor mural aplicado.

8. Apresentação de Resultados

Num primeiro olhar, pode-se fazer um balanço energético entre, a contribuição das duas fontes de energia (azul), e as reais necessidades energéticas (vermelho).

Assim o gráfico de barras da **Figura 28** acumulativo seguinte, demonstra em termos comparativos, a capacidade energética da moradia em termos de quilowatt-hora/mês:

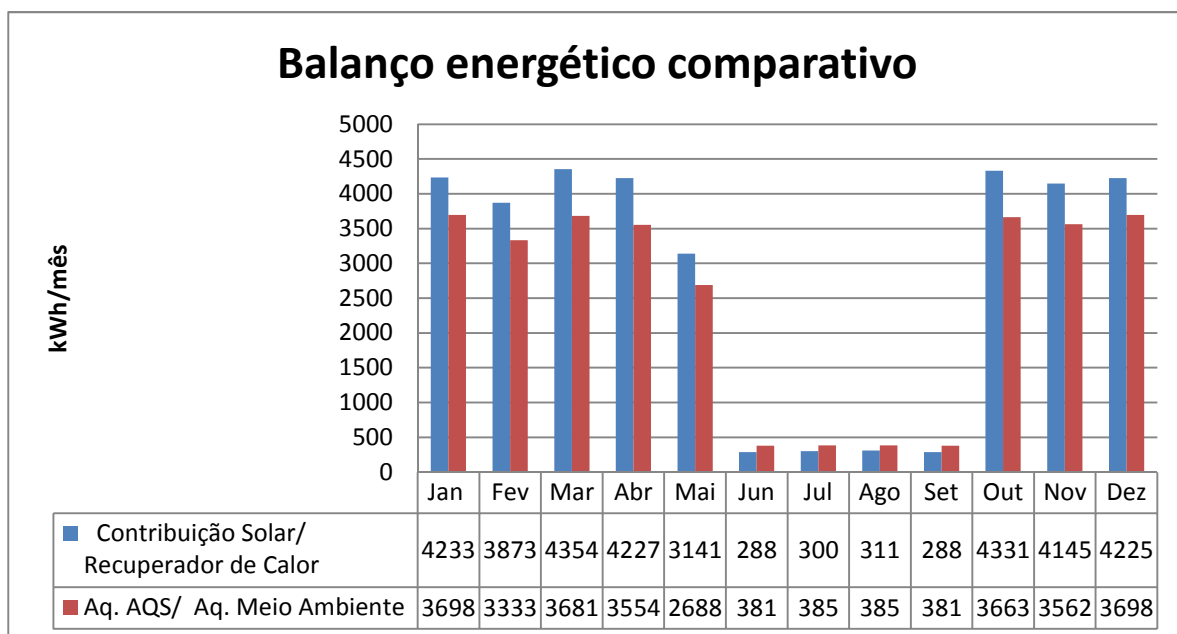


Figura 28 - Balanço energético comparativo [kWh/mês]

O período de aquecimento dura 7,7 meses do ano, em que, neste caso de análise, o mês de maio representa o 8º mês, o período de aquecimento correspondente à fração de 0,7 meses após o 7º mês. Assim, justifica-se que o mês de maio tenha um consumo energético reduzido em termos de aquecimento ambiente.

No anexo B, é possível analisar uma listagem detalhada das parcelas que constituem o balanço energético apresentado na figura 41, permitindo uma ideia mais clara do balanço de energias em jogo.

Para uma perceção mais genérica deste balanço, podemos também fazer uma análise em termos de kWh/mês.m², como o representado na Figura 29:

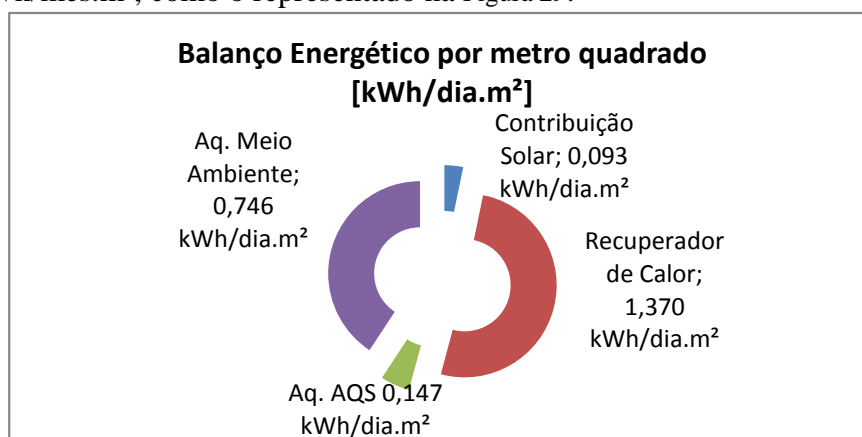


Figura 29 - Balanço Energético por metro quadrado [kWh/dia.m²]

Cada um dos valores expressos na tabela contígua ao gráfico da **Figura 28**, foram calculados ou obtidos.

- Para o cálculo das necessidades energéticas de aquecimento de Água Quente Sanitária, utilizou-se o método de cálculo patente no RCCTE e já citado no capítulo anterior através da Eq. [3]. Para tal foi necessário calcular o diferencial de temperaturas ΔT , entre a temperatura de referência e a temperatura da água da rede, em cada mês respetivo. Esta temperatura última, foi obtida através da base de dados do programa SOLTERM. O número de dias “nd” que consta na Eq., é referente ao número de dias de cada mês.
- Para o cálculo das necessidades energéticas de aquecimento do meio ambiente, utilizou-se como já referido no capítulo da modelação matemática, o valor referido pelo Professor Eduardo Oliveira Fernandes, para um período diário de necessidade de aquecimento de 24 horas que estará sujeito a alterações consoante as reais necessidades do utilizador.
- Para o cálculo da energia fornecida pelo recuperador de calor, foi necessário conhecer os valores da energia total anual utilizada (aq. AQS e aq. do meio ambiente) para poder escolher um recuperador de calor que não proporcionasse um grande desperdício energético. Utilizou-se como referência um recuperador de calor da marca EdilKamin, com as seguintes características expostas na Tabela 13:

Tabela 13 - Características do recuperador de calor selecionado

Características	Valores
Potência bruta [kW]	20
Consumo médio de lenha [kg/h]	2,3 – 6,6
Potência útil [kW]	18
Potência média da água [kW]	12,6
Rendimento direto na água [%]	70
Rendimento global [%]	78,2
Volume de água [L]	60
Pressão máxima [bar]	3

O valor relevante, é a potência média que é transferida para a água, e do rendimento. O que resulta num numa potência calorífica útil da água de 8,82 kW.

Para se poder fazer uma ideia da significância da combustão de biomassa como eucalipto, sobreiro ou pinheiro, espécies predominantes na floresta portuguesa, podemos fazer uma pequena estimativa daquilo que será a potência gerada:

(Eq. 34)

$$\dot{Q} = \dot{m} * PCI$$

Recorrendo à legislação publicada em 2008 (12) e atualmente em vigor, a madeira/resíduos de madeira, apresentam um Poder Calorífico Inferior na gama dos 13,8-15,6 MJ/kg o que equivale a (Tabela 14):

Tabela 14 - Análise do PCI do eucalipto e do pinheiro

Biomassa	Poder calorífico Inferior [kcal/kg]	Poder calorífico Inferior [kW/kg]	Potência gerada [kW]
Eucalipto	3750	4,36	19,4
Pinho	2500	2,91	12,9

Se se usar um caudal médio de madeira de 4,45 kg/h, para o caso do eucalipto por exemplo, obtém-se uma potência gerada que se aproxima francamente da potência bruta referida nas características. Supôs-se também, que a disponibilidade dos utilizadores para manter a combustão viva, seria de cerca de 14 horas por dia, ou seja, das 9 horas da manhã até as 23 horas da noite.

- Para o contribuição solar, utilizou-se também como referência um coletor solar da Vulcano PremiumSun FKT-1S com painel seletivo, o que permitiu através do programa SOLTERM, obter valores para energia mensal fornecida, valores esses que constam no gráfico da figura anterior. As características do coletor são as apresentadas na Tabela 15:

Tabela 15 - Características do coletor solar PremiumSun FKT-1S

Características - PremiumSun FKT-1S	
Área total [m ²]	2,26
Pressão máx. de trabalho [bar]	10
Caudal nominal [l/h]	50
Rendimento ótico	0,803
Coeficiente de perda linear (a ₁) [W/m ² /K]	3,653
Coeficiente de perda secundário [W/m ² /K]	0,0146

Estes valores, já incluem uma real transferência de calor para o depósito com um permutador de calor com uma eficiência total de 55%.

As características do desempenho do sistema solar, estão representadas na tabela seguinte:

Tabela 16 - Características do desempenho do sistema solar

Localização dos coletores	Montalegre
Tipo de cobertura	Inclinada
Orientação	Sul
Inclinação	41°
Número de coletores	3
Área total de captação [m²]	6,8
Fração solar [%]	73,9
Rendimento ótico [%]	80,3
Produtividade [kWh/(m².coletor)]	451

Os valores obtidos através do programa SOLTERM para a energia fornecida, não foram aqui apresentados para não sobrecarregar o capítulo mas podem ser encontrados no Anexo B.

- O depósito usado neste caso, é um depósito de dupla serpentina como referido anteriormente, da gama SK 300 Solar, com as seguintes características do circuito solar e para o circuito auxiliar (recuperador de calor) respetivamente:

Tabela 17 - Características técnicas do depósito de dupla serpentina

Nº de espirais	7	13
Capacidade Total [l]	286	286
Potência de Aq. Máximo [kW]	52,6	30,6
Superfície de Permuta [m²]	1,45	0,8

As necessidades energéticas

O primeiro passo para o desenvolvimento deste trabalho foi, o cálculo da dimensão das necessidades energéticas com que se estava a lidar. Igualmente, para poder conhecer os limites do projeto, calculou-se também os limites das necessidades como explicado no capítulo anterior relativo ao modelo matemático.

1. Na Tabela 18 demonstra-se, os resultados para o aquecimento do meio ambiente, segundo o valor fornecido [80 W/m^2] pelo Professor Eduardo Oliveira Fernandes, pelas razões já apresentadas, para cada um dos elementos da casa

Tabela 18 - Necessidades de aquecimento nos vários elementos da casa

Espaço		Área real [m ²]	W/m ²	Necessidades energéticas de aquecimento Potencia [W]
Sala	1	25,14	80,00	2011,14
Quarto Principal	2	10,20	80,00	816,15
Quarto da Sala	3	9,67	80,00	773,44
Quarto Norte	4	6,43	80,00	514,13
Quarto de Banho	5	3,20	80,00	256,31
TOTAL		54,64		4371,17

Pode-se observar, que a área total coberta da casa são 90 m^2 , o que não é compatível com os $54,64 \text{ m}^2$ apresentados aqui, uma vez que, o primeiro valor é referente à totalidade de área coberta.

2. Na Tabela 19 demonstra-se, os resultados para o aquecimento das águas quentes sanitárias, segundo o modelo matemático apresentado, na Eq. [3]:

Tabela 19 - Parâmetros e resultados do cálculo da energia para o aq. de AQS

Energia dispendida Qa [Kwh/ano]	L/ind.	n° ind.	c _p água (20°C) [J/kg.K]	Número de dias de ocupação
4839,47	40,00	6,00	4187,00	365,00

Temp. de ref. [°C]	Temp. externa [°C] (SOLTERM)	ΔT Temp. de referência pelo RCCTE	η Rendimento de conversão	Volume de água usado no depósito [l]
60,00	12,50	60,00	0,55	286,00

3. Na Tabela 20 apresenta-se os resultados obtidos para os limites de aquecimento do meio ambiente, segundo os critérios demonstrados na modelação matemática. Em primeiro lugar foi necessário calcular as áreas reais das fachadas interiores, e teto, estimando que o pé direito da casa teria um valor aproximado de 2,4 metros. Como referido anteriormente, devido às imprecisões projetuais, não foi possível obter valores precisos das áreas das janelas, por isso utilizou-se uma proporção de 12% da área das fachadas em que se inserem:

Tabela 20- Parâmetros para o cálculo dos limites de aq. do meio ambiente

Espaço	SW [m ²]	NE [m ²]	SE [m ²]	NW [m ²]	Área das janelas (12%) [m ²]	Cobertura [m ²]	Pé direito [m]
Sala	12,02	11,22	11,03	11,02	4,11	26,83	
Quarto Principal	10,12	10,29	5,40	5,40	1,86	10,89	
Quarto da Sala	9,67	9,67	5,40	5,40	1,16	10,32	2,40
Quarto Norte	6,35	6,52	5,40	5,40	0,65	6,86	
Quarto de Banho	6,42	6,43	2,70	2,69	-	3,42	

O coeficiente de transferência térmica são os apresentados na tabela do subcapítulo 6.1.2, retirados do anexo IX do RCCTE, apresentados aqui na Tabela 21 em que numa nota relevante diz que, as fachadas interiores são equivalentes às fachadas exteriores:

Tabela 21 - Coeficiente de transferência máxima para cálculo dos limites de aq. meio ambiente

Coeficientes de transferência térmica máxima [W/m ² .°C]	
Paredes	1,45
Coberturas	0,90
Envidraçados [inercia média ou forte]	0,56

Para o cálculo dos limites de aquecimento do meio ambiente, utilizou-se a Eq. [8] citada na modelação matemática, usando as temperaturas mínimas médias, obtidas como referido a partir do SOLTERM:

Tabela 22 - Limites das necessidades de aq. meio ambiente

Espaço	Mínimas médias no período de Aq. [°C]	Valor limites de necessidades de potência segundo as temperaturas mínimas [W]
Sala		1310,44
Quarto Principal		797,92
Quarto da Sala	5,78	762,79
Quarto Norte		581,14
Quarto de Banho		419,83
TOTAL		3872,13

4. Para o cálculo dos limites de aquecimento de água quente sanitária, obteve-se os seguintes resultados expostos na Tabela 23:

Tabela 23 - Valores limites das necessidades de energia para aquecimento de AQS

Valor limites para as necessidades nominais de energia útil para preparação de AQS (Na) [kWh/ano]	Número de dias de ocupação	Volume de água usado no cilindro convencional
8455,59	365,00	286,00

A análise da hipótese de convetor/depósito proposto

Não havendo uma especificação das dimensões do convetor proposto, foram arbitradas dimensões que se adaptassem às ideias propostas em projeto, e que tivessem algum sentido em termos de presença no habitáculo, neste caso o designado “Quarto principal”.

As dimensões são as seguintes expostas na Tabela 24:

Tabela 24 - Características do possível convetor/depósito

Pé direito da casa [m]	Dimensões do convetor de calor [m ³] Altura*largura*profundidade	Profundidade [m]	Largura [m]	Altura [m]	Área de permutador (superfície dissipativa) [m ²]	Espessura [m]
2,4	0,125	0,3	0,5	2,0	1,0	0,01

A Figura 30 seguintes ilustram um eventual convetor/depósito inserido no local com medida em milímetros:

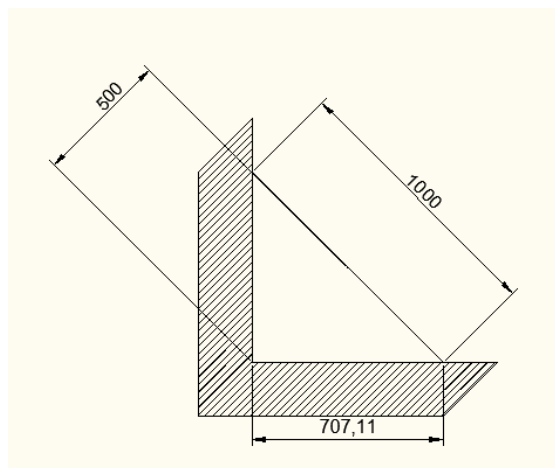
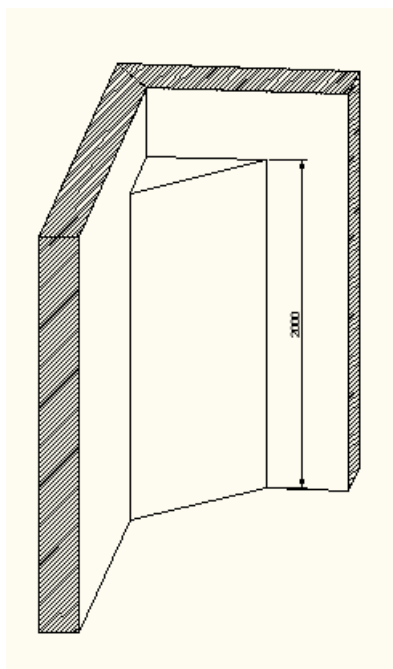


Figura 30 - Figura ilustrativa das dimensões do convetor/depósito em milímetros

Relativamente às características do elemento, teria uma tubagem para a entrada de água quente pela parte superior do depósito, sendo a saída de “água fria” pela parte inferior. As superfícies em contacto com a parede serão teoricamente adiabáticas, o que se poderia traduzir na prática por um revestimento de poliuretano. A superfície por onde se daria a dissipação de calor, seria de alumínio fortemente oxidado, tal como no caso dos convetores domésticos habituais, para evitar fenómenos de corrosão. A superfície do alumínio teria as seguintes características da Tabela 25:

Tabela 25- Características da superfície do convetor

Condutibilidade térmica [W/m.°C]	Emissividade
237	0,25

Para se calcular a potência dissipativa deste elemento, foi necessário antes de mais, fazer-se o cálculo das resistências térmicas inerentes à superfície dissipativa.

Para tal, recolheu-se as propriedades físicas da água (Tabela 26) e do ar (Tabela 27) para uma temperatura média de $\frac{20+65}{2} = 42,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

Tabela 26 - Propriedades físicas da água a 42,5 °C

T	ρ	c_p	λ	μ	ν	β	Pr
°C	kg/m ³	kJ/kg.K	W/m.K	N.s/m ²	m ² /s	K ⁻¹	
42,50	991,15	4,1795	0,6313	0,000625250	0,000000063	0,0004	4,15

Tabela 27 - Propriedades físicas do Ar a 42,5 °C

T	ρ	c_p	λ	μ	ν	β	Pr
°C	kg/m ³	KJ/kg.K	W/m.K	N.s/m ²	m ² /s	K ⁻¹	
42,5	1,1183	1,0050	0,0273	0,00001922	0,00001721	0,0032	0,7108

Após a aplicação da expressão [16] e [] para a Água e para o Ar encontraram-se os seguintes valores para na Tabela 28:

Tabela 28 - Valores adimensionais Rayleigh e Grashof

Rayleigh (Água)	1,4110E+13
Rayleigh (Ar)	2,57E+10
Regime (Água)	Turbulento
Regime (Ar)	Turbulento
Grashof (Água)	3,4E+12
Grashof (Ar)	3,6E+09

Usando a expressão [18] calcula-se o Nusselt médio:

Tabela 29 - Valor adimensional Nusselt

Nusselt (Água)	3837,9
Nusselt (Ar)	307,7

Para o cálculo do Alfa médio, usa-se a Eq. [15]:

Tabela 30 – Resultado do cálculo dos alfas médios

Alfa médio (Água)	1211,33
Alfa (Ar)	4,20

Os valores de alfa médios, irão permitir calcular os valores

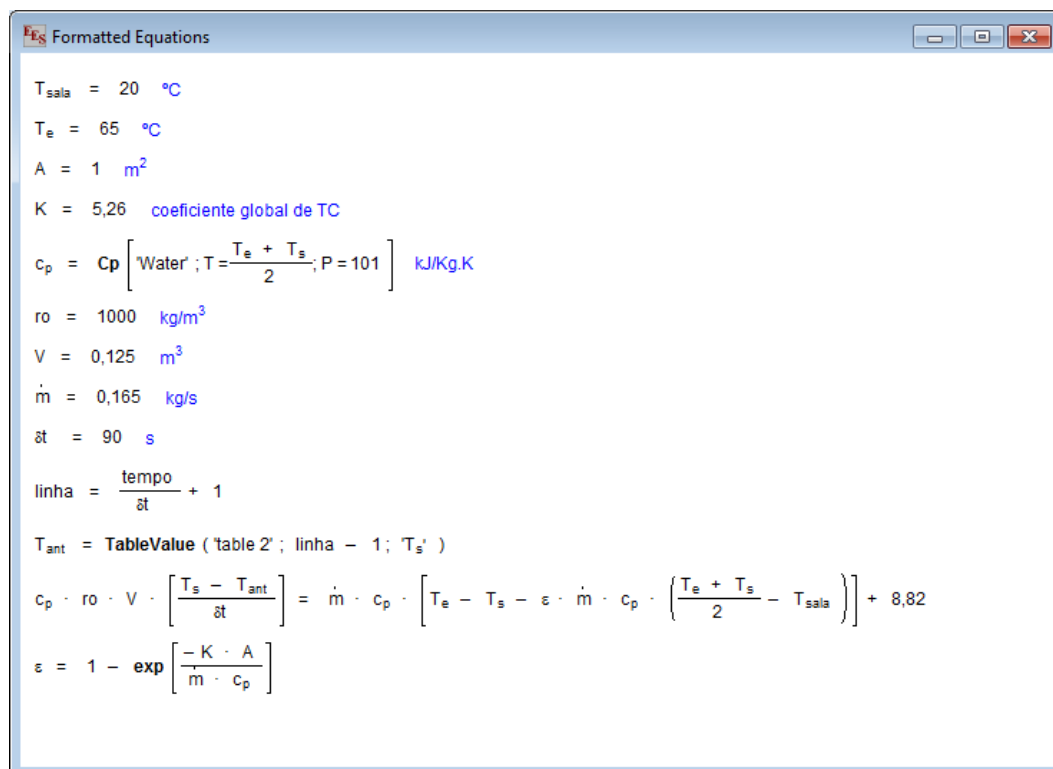
Tabela 31 - Resultado do cálculo da resistência térmica equivalente

Resistência térmica Equivalente	0,17
Potência térmica radiativa [W]	268,08
Coefficiente Global de Transferência de Calor	5,96

Definição dos parâmetros acessórios do sistema de aquecimento

O uso da hipótese de convetor/depósito proposto

Mediante o uso do programa EES, foi possível encontrar um valor para o caudal que permite a transferência de calor do fluido térmico do convetor para a sala, e posteriormente do recuperador de calor, para o fluido térmico. Na Figura 31 apresenta-se o programa usado com as equações formatadas, para encontrar a temperatura para a qual o fluido converge:



```

T_sala = 20 °C
T_e = 65 °C
A = 1 m²
K = 5,26 coeficiente global de TC
c_p = Cp [ "Water" ; T = (T_e + T_s) / 2 ; P = 101 ] kJ/Kg.K
rho = 1000 kg/m³
V = 0,125 m³
m_dot = 0,165 kg/s
dt = 90 s
linha = tempo / dt + 1
T_ant = TableValue ( 'table 2' ; linha - 1 ; 'T_s' )
c_p * rho * V * [ (T_s - T_ant) / dt ] = m_dot * c_p * [ T_e - T_s - epsilon * m_dot * c_p * ( (T_e + T_s) / 2 - T_sala ) ] + 8,82
epsilon = 1 - exp [ ( - K * A ) / ( m_dot * c_p ) ]
  
```

Figura 31 - Equações formatadas para o cálculo da evolução da temperatura no depósito

Conciliando o uso deste programa com um balanço energético de 8,82 kW do recuperador de calor em questão, através da Eq. [29], a temperatura de saída convergirá para um valor de 52,2°C com um caudal mássico de 0,165 kg/s como demonstra a Figura 32:

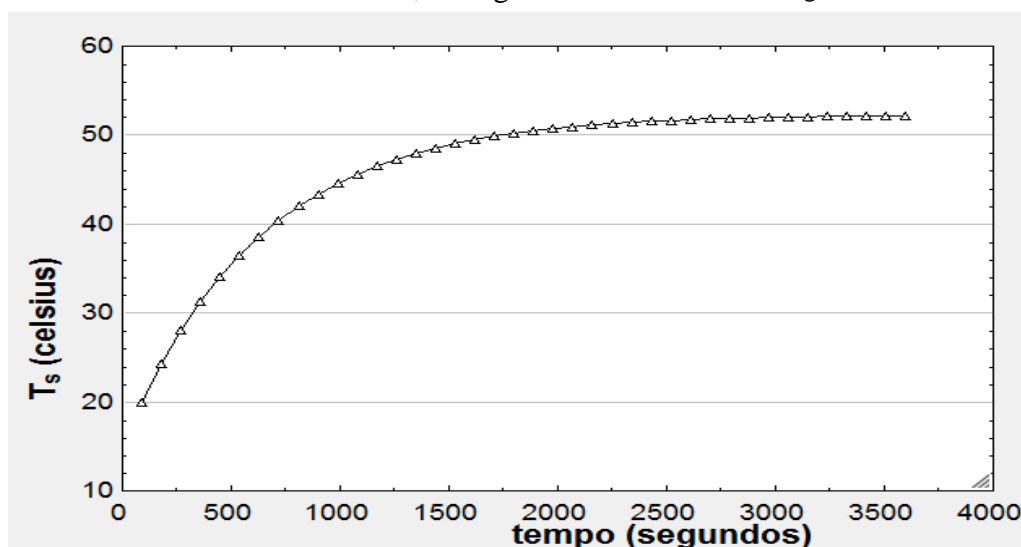


Figura 32 - Evolução da temperatura de saída do depósito após 1 hora

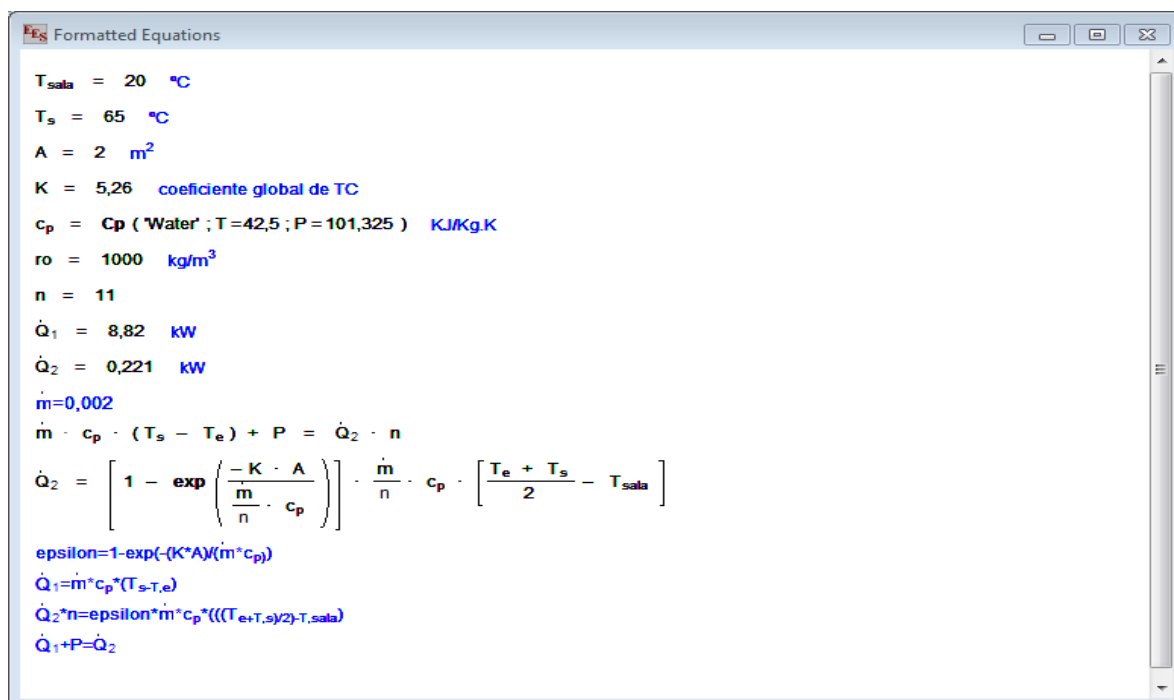
Com um depósito com este volume, existe uma grande inércia térmica com grande capacidade de prolongar o período de arrefecimento, após o cessamento da fonte térmica, que pode ser medida através do uso da Eq. [24] do modelo matemático, valores apresentados aqui na Tabela 32:

Tabela 32 - Tabela de resultados

Temperatura Inicial [°C]	65
Tempo médio de arrefecimento [minutos]	50,6
Temperatura de saída [°C]	52,2
Caudal mássico [kg/s]	0,165

O uso de convetores murais como alternativa ao depósito/convetor

Como explicado previamente no modelo matemático Eq. [33], foi usado o EES para descrever a gama de caudais e temperaturas de saída do convetor correspondentes, Figura 33:



The screenshot shows the EES software interface with the following equations and parameters:

```

T_sala = 20 °C
T_s = 65 °C
A = 2 m²
K = 5,26 coeficiente global de TC
c_p = Cp ( 'Water' ; T=42,5 ; P=101,325 ) KJ/Kg.K
ro = 1000 kg/m³
n = 11
Q1 = 8,82 kW
Q2 = 0,221 kW
m=0,002
m * c_p * (T_s - T_e) + P = Q2 * n
Q2 = [ 1 - exp( (-K * A) / (m/n * c_p) ) ] * (m/n * c_p * [ (T_e + T_s) / 2 - T_sala ])
epsilon=1-exp(-(K*A)/(m*c_p))
Q1=m*c_p*(T_s-T_e)
Q2*n=epsilon*m*c_p*(((T_e+T_s)/2)-T_sala)
Q1+P=Q2
  
```

Figura 33 - Equações formatadas para o cálculo de um caudal mássico e temperatura de entrada do recuperador

O valor de n corresponde a 11 convetores distribuídos pela casa. Consoante a necessidade de cada espaço, para preencher esse valor usa-se 1 ou mais convetores de 221 W.

Descrevendo a variação da temperatura em função do caudal mássico na Figura 34:

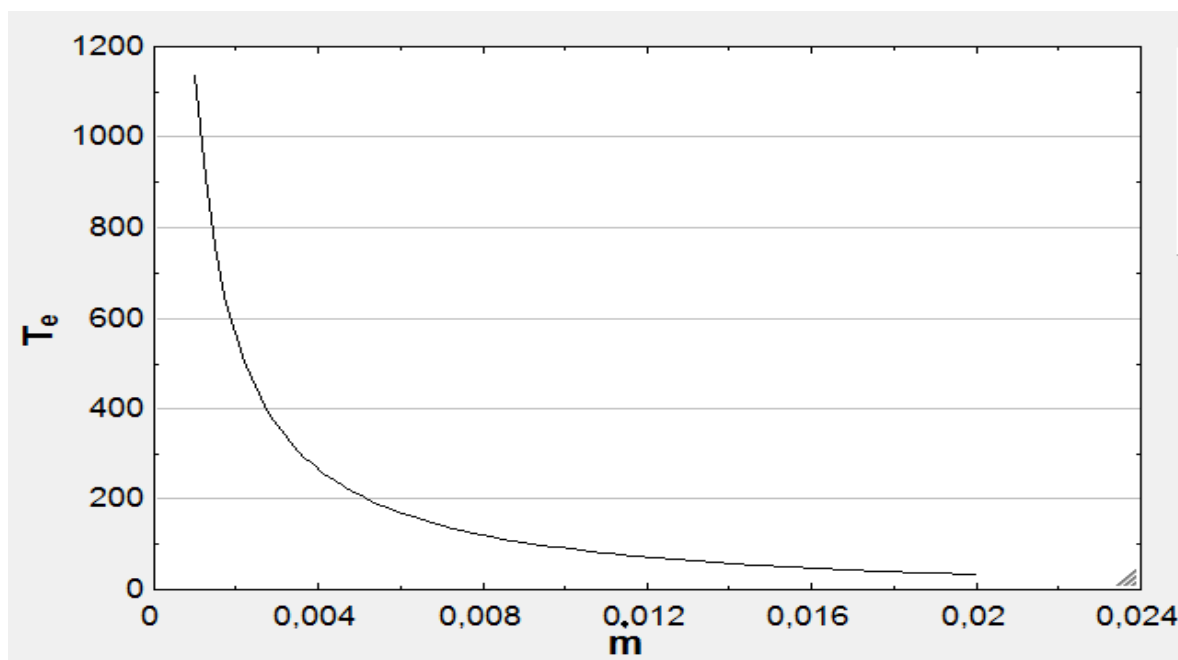


Figura 34 – Variação gráfica da temperatura de entrada em função do aumento do caudal mássico

A gama de temperaturas do gráfico anterior é exposta na Tabela 33 que se segue:

Tabela 33 - Variação numérica da temperatura de entrada em função do aumento do caudal mássico

1..10	1 m [kg/s]	2 T _e [°C]
Run 1	0,013	64,43
Run 2	0,01378	59,38
Run 3	0,01456	54,87
Run 4	0,01533	50,82
Run 5	0,01611	47,16
Run 6	0,01689	43,84
Run 7	0,01767	40,81
Run 8	0,01844	38,03
Run 9	0,01922	35,48
Run 10	0,02	33,13

Para se poder usar uma temperatura de entrada no recuperador de calor semelhante à usada na hipótese do convetor/depósito, poder-se-ia usar um caudal bastante mais baixo, com valores à volta dos 0,015 kg/s para uma temperatura de 50,8 °C. A potência térmica usada

neste caso, será a mesma, mas distribuída por todos os espaços da casa, através de 11 convetores murais.

9. Análise de Resultados

• Pela análise do gráfico da figura seguinte proveniente de parte do balanço energético, sabendo que o recuperador dentro das condições de funcionamento indicadas, permite fornecer toda a energia calorífica necessária, eventualmente com algum desperdício no período de aquecimento, nos meses de arrefecimento, isso não acontece uma vez que, não fazendo sentido usar o sistema de aquecimento de meio ambiente apenas se usa os coletores solares como fonte de energia. Assim, o gráfico da figura demonstra o balanço energético para o período de arrefecimento:

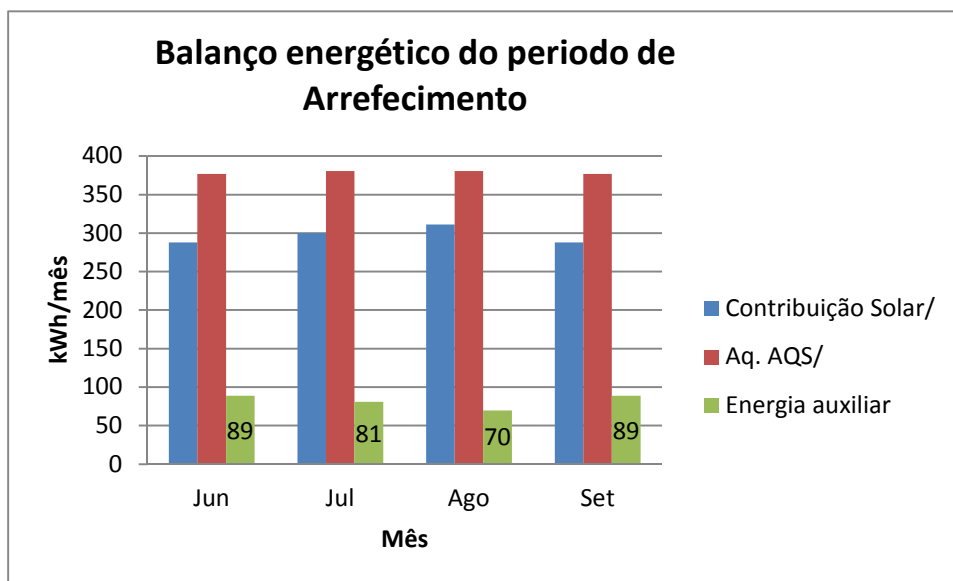


Figura 35 - Balanço energético do período de Arrefecimento e energia auxiliar necessária

Nos meses de Junho, Julho, Agosto, Setembro há uma pequena compensação que deve ser feita à energia fornecida pelos coletores mediante o uso de energia auxiliar (representada a verde na figura), fornecida por uma resistência elétrica no interior do depósito de AQS.

• No gráfico da figura numero 41 em que se faz um balanço energético entre as necessidades energéticas de aquecimento e as fontes de calor, existe aparentemente um excesso de energia produzida durante o período de aquecimento. O período de tempo arbitrado aqui para se manter a combustão da biomassa equilibrada é de 14 horas, um período que pode ser um pouco ambicioso uma vez que requer a presença permanente de um utilizador que vigie a chama. Se houver uma margem de erro de 4 horas, reduzindo esse período para 10 horas, então a energia fornecida já estará muito aproximada da energia necessária pelo que é possível observar no gráfico da figura:

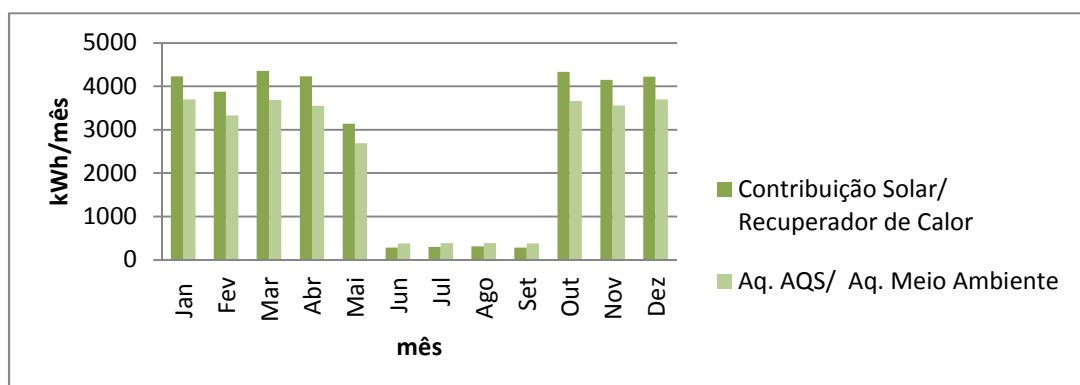


Figura 36 - Balanço energético para um caudal de lenha regular por um período de 10 horas/dia

- Relativamente às soluções a adotar, comparando os dados obtidos para as duas soluções:

Tabela 34 - Tabela comparativa de soluções para irradiação do calor para os quartos

	Depósito/convetor	Convetor Mural
Temperatura de saída [°C]	52,0	50,82
Caudal mássico [kg/s]	0,165	0,015
Potência térmica [W]	268,08	221
Tempo de início de dissipação de calor [minutos]	51	0
Tempo de fim de dissipação de calor (após extinção da fonte) [minutos]	50,6	0

O depósito/convetor apresenta a vantagem de prolongar o período de dissipação de calor para o meio ambiente após a cessação das fontes, durante um período aproximado de uma hora, mas que por outro lado se torna desvantajoso, quando se trata de iniciar o aquecimento do espaço, que demora igualmente um período semelhante. O convetor mural apresenta uma potência térmica semelhante, mas permitindo a partilha de energia por outros espaços da casa, em que com uma temperatura de saída semelhante, se consegue utilizar um caudal mássico muito mais baixo.

- Para analisar o número de convetores murais com uma potência térmica de 221W que será necessário ter em funcionamento:

Tabela 35 - Contagem do numero de convetores necessários por quarto

	Necessidades energéticas de aquecimento Potencia [W]	Número de convetores vulcano necessários
Sala	2011,14	9
Quarto Principal	816,15	4
Quarto da Sala	773,44	3
Quarto Norte	514,13	2
Quarto de Banho	256,31	1
	4371,17	11

Obviamente que, para um convetor com uma potência tão pequena, o número de convetores necessários para preencher as necessidades será grande. A sala não entra nos cálculos uma vez que, a potência térmica útil irradiada através da porta de vidro do recuperador é suficiente para cobrir as necessidades de 211 W especificada (5,5 kW).

- O uso de lenha durante um período de cerca de 14 horas por dia teria, para um preço do eucalipto de 55 €/ton, no ano de 2012 segundo a associação de produtores florestais do Vale do Sado, um custo associado de 106€ por mês para um montante de 1931 kg. Este valor pesa obviamente na fatura mensal de uma família de 6 pessoas.

10. Balanço de Custos

Neste capítulo, apresenta-se uma avaliação económica do que seria a compra e reabilitação de uma moradia semelhante à situada em Covelães. Faz-se também um balanço de custos daquilo que seriam as despesas necessárias para a compra e instalação de um sistema como o apresentado anteriormente:

Tabela 36 - Balanço de custos da totalidade do projeto

Avaliação de Custos	Unidades	Valor [€]	Peso
Sistema de Aquecimento		9.336,43 €	16%
Instalação do sistema		1.780,00 €	3%
Custos construtivos de reabilitação	m2	36.000,00 €	61%
Preço do terreno	m2	12.000,00 €	20%
TOTAL		59.116,43 €	100%

Na análise das várias parcelas apresentadas foram tomadas em conta fatores vários.

A constituição de um preço para a compra do sistema de aquecimento e a sua respetiva instalação, passou primeiramente pela consulta de catálogos da Vulcano e BaxiRoca para formar uma lista de equipamentos, a qual está disponível no anexo C, e de seguida, pela consulta de uma especialista na área de instalação de sistemas de aquecimento e arrefecimento, que avaliou e atribuiu um preço à hipotética instalação deste sistema.

Com o intuito de demonstrar o peso de um sistema deste género no investimento total, numa habitação deste tipo, procurou-se avaliar de uma forma superficial os custos totais de compra de terreno e reabilitação de edifício:

Para a estimativa de custos de construção da reabilitação, sem ter acesso às reais condições da casa, tomou-se em conta que esta se encontra num estado de degradação média. Com a orientação de um engenheiro Civil especialista em reabilitação de edifícios, foi possível apurar, que um edifício (moradia) nestas condições, com uma área média de 100 m², constituída por 2 quartos, uma sala comum, cozinha e quarto de banho, apresenta habitualmente necessidades tais como:

- Execução de telhado novo com telha cerâmica assente em estrutura de madeira a reabilitar;
- Forro de madeira e isolamento térmico;
- Reparação de soalhos em madeira de pinho assentes sobre estrutura de madeira existentes;
- Reconstrução de quarto de banho e cozinha;

- Reconstrução de detalhes como reboco interior de paredes e pinturas, reabilitação de portas, execução de caixilharias de janelas novas, e tomada de juntas nas paredes exteriores, para consolidação e impermeabilização.

Dentro deste círculo de características a considerar, foi possível atribuir um valor aos custos de reabilitação por metro quadrado, 400 €/m².

Para a compra do terreno considerou-se um espaço com 400m², 20x20, levando em conta que por lei, uma moradia à face da estrada, deve estar recuada num mínimo 5 metros dos limites do terreno. O preço, baseia-se no preço de um terreno com características tais como, ter capacidade construtiva e estar afastado de centros urbanos: 30 €/m²

11. Conclusões Finais

Este trabalho, demonstrou ser um projeto muito revigorante e compensador, no aspeto em que permitiu abordar várias vertentes da engenharia mecânica, tendo um especial enfoque sobre a energia térmica de edifícios e sobre energias renováveis, motivo de interesse da sociedade atual e especialmente da minha parte.

Houve alguns detalhes que só foram tomados em conta no final do período de realização do projeto, excluindo alguma hipótese de a abordar. Destaco aqui as mais relevantes:

A utilização do recuperador de calor por um período de 14 horas por dia, para obter a energia térmica indicada, em termos práticos pode não ser útil uma vez que, numa casa com ambiente familiar é habitual haver períodos, de ausência de utilizadores. Desta forma, o recuperador de calor poderia ser substituído por outras formas de combustão, em que para não sair fora do âmbito da independência energética, seria a utilização de uma caldeira de combustão a pellets. Deixaria de haver o efeito reconfortante da presença do fogo, mas estariam asseguradas certas condições de conforto.

O uso de convetores murais revelou-se uma solução comum, mas que, pelo número encontrado, 11 convetores murais em 4 espaços da casa, é sem dúvida exagerado. Uma forma muito prática de suprimir estas necessidades seria pela aplicação de um ventiloconvetor no espaço comum, aliado ao uso de convetores murais, caso necessário. Um só ventiloconvetor pode apresentar uma potência térmica na ordem dos 2000W com um consumo mínimo de 40W de potência elétrica para circulação do ar.

A projeção de sistema de aquecimento proposto, está sujeito um detalhe que pode ser incomodativo. Sempre que o sistema se encontre na situação em que, ambas as fontes térmicas estão dedicadas ao aquecimento do meio ambiente, e se der uma ligeira redução da temperatura no depósito acumulador, as válvulas V1 e V2 irão comutar, devido à prioridade dada ao aquecimento de AQS. Assim sendo, seria uma hipótese viável, a utilização de um segundo depósito acumulador, inteiramente dedicado à acumulação de calor do coletor solar, que traria duas vantagens: o diferencial de temperaturas de saída e de entrada do fluido do coletor seria menor, aumentando o rendimento deste, e uma das serpentinas do depósito acumulador de dupla serpentina seria, de um circuito hidráulico exclusivo do aquecimento de meio ambiente, evitando situações como a descrita acima acontecessem, e permitindo o retardamento do aquecimento do meio ambiente após a extinção da chama no recuperador, pelo uso da inércia térmica da água.

Bibliografia

1. *Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis. República Portuguesa.* Lisboa : s.n., 2009.
2. Decreto Lei 33/2010. *Estratégia Nacional para a Energia 2020.* 2010.
3. **Gonçalves, Helder e Graça, João Mariz.** Conceitos Bioclimáticos para edifícios em Portugal. 2004.
4. Decreto Lei 40/90. *Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios (RCCTE).* 6 de Fevereiro de 1990.
5. Decreto Lei 156/92. *Regulamento da qualidade dos sistemas energéticos de climatização em edifícios (RQSECE).* 29 de Julho de 1992.
6. Decreto Lei 188/98. *Regulamento dos sistemas energéticos de climatização em edifícios (RSECE).* 7 de Maio de 1998.
7. **Direcção Geral de Energia e Geologia.** Inquérito ao consumo de Energia no sector Doméstico. 2010.
8. **Rosendo, João, Roriz, Luís F. e Calhau, Kathrin.** Energia Solar em Edifícios. 2010, 2010.
9. **Van Loo, S. e Koppejan, J.** *The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing.* United Kingdom : s.n., 2008.
10. **Fernandes, E. O. e Castro, M. D.** *Acetatos de Apoio às Aulas Práticas de Transferência de Calor.* Porto : s.n., 2008.
11. www.stuv.com. *Stûv.* [Online]
12. Decreto Lei 17313/2008. *Poderes Caloríficos Inferiores e Fatores de Emissão.* 2008.
13. www.dgeg.pt. *Direcção Geral de Energia e Geologia.* [Online]
14. **Instituto da Água, DGEG, REN.** Programa Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroelétrico - Memória. 2007.
15. **Nacionais, Redes Energéticas.** *A energia eólica em Portugal.* 2012.
16. **Castro, Rui.** *Uma introdução às energias Renováveis: eólica, Fotovoltaica e Mini-Hídrica.* 2012.
17. www.aguaquentesolar.com. *Água Quente Solar.* [Online]
18. **Associação Portuguesa da Indústria Solar.** Observatório Solar Térmico. 2012.
19. **Direcção Geral de Energia - Ministério da Economia .** Eficiência Energética nos Edifícios. 2002.

ANEXOS

ANEXO A: Lista de material escolhido como referência para constituir o sistema de aquecimento

Lista de material utilizado		
Coletor Solar	Coletor PremiumSun FKT-1S	Vulcano
Recuperador de calor	Recuperador de Calor Hidro 50	EdilKamin
Depósito acumulador	Depósito de Dupla Serpentina SK 300 Solar	Vulcano
Sistema de circulação	Solar Hydraulic 10	BaxiRoca
Sistema de controlo	CS-10	BaxiRoca
Convetores murais	Gama Elegance EL 800	Vulcano
Permutador de Calor	Permutador de calor	BaxiRoca
Válvula termostaticável	Válvula termostaticável	BaxiRoca
Válvula bidireccional de servocomando	Válvula bidireccional de servocomando	BaxiRoca
Válvulas bidireccionais de controlo termostato	Válvulas bidireccionais de controlo termostato	BaxiRoca
Vaso de expansão	Vaso de expansão	BaxiRoca
Bomba circuladora	Bomba circuladora SXM 25	BaxiRoca

ANEXO B: Balanço energético detalhado apresentado na figura 41.

		Contribuição Solar/		Recuperador de Calor (Sala) 18-12,5 kW=5,5 (η=78,2%)		Contribuição Solar + Recuperador
		[kWh/mês]	[kWh/dia.m²]	[kWh/mês]	[kWh/dia.m²]	
31	Jan	165	0,059	5695	1867	5860
28	Fev	199	0,079	5143	1686	5343
31	Mar	286	0,103	5695	1867	5981
30	Abr	291	0,108	5511	1806	5802
31	Mai	294	0,105	3986	1307	4280
30	Jun	288	0,107	0	0	288
31	Jul	300	0,108	0	0	300
31	Ago	311	0,111	0	0	311
30	Set	288	0,107	0	0	288
31	Out	263	0,094	5695	1867	5958
30	Nov	209	0,077	5511	1806	5720
31	Dez	157	0,056	5695	1867	5852
365		3051	0,093	42929,2878	2,038	

		Aq. AQS/		Aq. Meio Ambiente		Aq. AQS + Aq. meio ambiente	Temperatura da água na entrada da rede	Energia auxiliar
		[kWh/mês]	[kWh/dia a.m²]	[kWh/mês]	[kWh/dia .m²]			
31	Jan	441	4,9	3252	36,1	3698	9	
28	Fev	391	4,3	2937	32,6	3333	10	
31	Mar	424	4,7	3252	36,1	3681	11	
30	Abr	402	4,5	3147	35,0	3554	12	
31	Mai	407	4,5	2277	25,3	2688	13	
30	Jun	377	4,2	0	0,0	381	15	89
31	Jul	381	4,2	0	0,0	385	16	81
31	Ag o	381	4,2	0	0,0	385	16	70
30	Set	377	4,2	0	0,0	381	15	89
31	Out	407	4,5	3252	36,1	3663	13	
30	No v	410	4,6	3147	35,0	3562	11	
31	Dez	441	4,9	3252	36,1	3698	9	
365		4838,22	0,147	24517,19	1,164	29355,5	12,5	

ANEXO C: Listagem de preços dos vários elementos do sistema de aquecimento

Elementos em utilização	Qtdd	Características	Marca	Preço (1 uni s/ IVA)	Preço (1 unidade, c/ IVA 23%)	Preço do total de unidades c/ iva
Depósito de dupla Serpentina	1	Depósito de dupla serpentina SK300 Solar - Aq. Auxiliar, 7 espirais, 286 litros, pot max de aq: 30,6 kW, sup de permuta: 0,8. Circuito Solar - 13 espirais, 286 litros, pot máx de aq: 52.6, sup de permuta: 1,45.	Vulcano	1.400,00 €	1.722,00 €	1.722,00 €
Resistência elétrica	1	Resistência elétrica RC-31/25 1,5 kW (300L a 500L)	Baxiroca	333,00 €	409,59 €	409,59 €
Recuperador de Calor	1	Hidro 50 - Potencia bruta: 20, Pot térmica: 18, Pot térmica da água: 12,5. Rendimento térmico da água 70.	edilkamin (sitiodaslareiras)	1.350,00 €	1.660,00 €	1.660,00 €
Circuito de Dissipação	2	Dissipação de potências caloríficas máx. de 8,82 kW		?		- €
Sistema de circulação	1	Solar hidráulico 10	Baxiroca	344,00 €	423,12 €	423,12 €
Sistema de controlo	1	CS-10	Baxiroca	226,00 €	277,98 €	277,98 €
Convetores murais	11	Convetores gama Elegance - Capacidade dissipativa 220W a 65 °C	Vulcano	86,00 €	105,78 €	1.163,58 €
Permutador de calor	1	Permutador de calor de 20 placas	Baxiroca	867,00 €	1.066,41 €	1.066,41 €
Valvula termostatizável	11			?		- €
Misturador Termostatico de 3 vias	1	Misturador termostático 3/4"	Baxiroca	71,00 €	87,33 €	87,33 €

Válvula de Segurança	3	Válvula de segurança 1/2" a 6 bar	Baxiroca	11,40 €	14,02 €	42,07 €
Purgador de Ar	2	Purgador automático flexvent super 1/2"	Baxiroca	56,00 €	68,88 €	137,76 €
Vaso de expansão	3	Vasoflex solar N 18/2,5 (pressão máx. 8 bar)	Baxiroca	77,00 €	94,71 €	284,13 €
Bomba circuladora	1	SXM-25	Baxiroca	310,00 €	381,30 €	381,30 €
Colectores solares	3	Premium Sun FKT-1S - 6,8 m ² rendimento ótico 80,3%, a1=3,56, a2=0,014	Vulcano	780,00 €	959,40 €	2.878,20 €
Conjunto de ligações hidráulicas para instalação em telhado inclinado	1		Vulcano	150,00 €	184,50 €	184,50 €
Conjunto de ligações hidráulicas para instalação em série de painéis FKT	1		Vulcano	85,00 €	104,55 €	104,55 €
Estrutura de suporte para 3 painéis verticais	1		Vulcano	155,00 €	190,65 €	190,65 €
						11.013,17 €